سطح الأرض

دراسة في جغرافية التضاريس

دكتور

أحمد أحمد مصطفى

قسم الجغرافيا - كلية الآداب
جامعة الإسكندرية

دار المعرفة الجامعية

دكتـــور
احمد احمد مصطفي

سطـح الأرض

دراسة في جغرافية التضاريس

دكتور

أحمد أحمد مصطفي

قسم الجغرافيا

كلية الآداب - جامعة الاسكندرية

دار المعرفة الجامعية

للطبع والنشر والتوزيع

٤٠ شـارع سوتـير - الأزاريـطة - الإسكندرية - ت : ٤٨٧٠١٦٣

٣٨٧ شارع قنال السويس - الشاطبي - الإسكندرية ت : ٥٩٢٣١٤٦

٢٠٠٣

دار المعرفة الجامعية

للطبع والنشر والتوزيع

• الإدارة: ٤٠ شارع سوتير - الأزاريطة - الإسكندرية
ت: ٤٨٧٠١٦٣

• الفرع: ٣٨٧ شارع قنال السويس - الشاطبي - الإسكندرية
ت: ٥٩٢٢١٤٦

دكتــور
احمد احمد مصطفي

بسم الله الرحمن الرحيم

« وفوق كل ذي علم عليم »

صدق الله العظيم

إهداء

إلي أبنائي .... مروي ومحمود ومني ومحمد

ثمار الحياة .. فخر الحاضر وسند المستقبل

بعد الله سبحانه وتعالي

مقدمـة

بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وخاتم النبيين سيدنا محمد بن عبد الله وعلى آله وصحبه ومن دعا بدعوته واهتدى بهديه إلى يوم الدين، وبعد...

ظهر هذا الكتاب فى صورته الأولية عام ٧٨ / ١٩٧٩ على هيئة مشروع كتاب، مكتوب بالاستنسيل تحت عنوان أسس الجغرافيا الطبيعية ونشرته دار الكتاب الإسلامى لصاحبها ومديرها الأستاذ الفاضل عوض سالم وأعيد طبعه فى إصدارات متتابعة خلال السنوات التالية حتى عام ٨٣ / ١٩٨٤ حيث أغلقت الدار لسفر صاحبها إلى خارج البلاد. وقد تفضل صاحب دار المعرفة الجامعية السيد / صابر عبد الكريم مشكوراً بقبول نشر الكتاب وإستلم أصوله من الأستاذ عوض سالم قبل سفره وأخرجه فى صورة وثوب جديدين تليق به وبداره. وقد كنت حريصا فى الطبعات التالية وإصداراتها على تنقيحه وتزويد مادته العلمية فى ضوء نتائج البحوث والدراسات الحديثة مع إضافة الكثير من الخرائط والأشكال والرسوم التوضيحية لتيسير الفهم فى سهولة ويسر. وكان يقع الكتاب فى عشرة فصول، الفصل الثامن بعنوان عناصر الطقس والمناخ والفصل التاسع بعنوان المناخ والأقاليم المناخية، والفصل العاشر بعنوان العوامل التى تتحكم فى نمو النبات والأقاليم النباتية. أما الفصول السبعة الأولى فهى تختص بدراسة الفضاء الكونى والنظام الشمسى ونشأة الأرض كفرد من أفراد العائلة الشمسية ثم دراسة الأرض من حيث تركيبها وطبيعة مادتها، وتوازن وطبيعة مكونات قشرتها، ثم دراسة نشأة القارات والأحواض المحيطية، وعمليات وعوامل تشكيل سطح الأرض الداخلية والخارجية والظاهرات الناجمة عنها.

وفى ضوء تزايد المعلومات الحديثة عن نشأة الكون والنظام الشمسى، وعن القوى الباطنية التى تقف وراء عمليات تشكيل سطح القشرة الأرضية مثل طبيعة حرارة باطن الأرض، والقوى المغناطيسية المسيطرة وتغيراتها عبر الزمن، والعمليات الكيميائية التى تحدث فى باطن الأرض تحت ظروف ضغط عال متعاظم وفى ظل درجات حرارة مرتفعة وربما فى ظل درجات حرارة شديدة الإنخفاض تجعل المواد الصخرية والمعدنية فى حالة لدنة، فى ضوء تلك المعارف تطورت الأفكار الخاصة بتصدع وتكسر وتحرك القشرة الأرضية بقسميها القارى والمحيطى وخروج المواد الماجماتية من القسم العلوى من وشاح الأرض وتكوين

قشرة محيطية جديدة، وأصبحت نظرية الألواح التكوينية متكاملة الأركان ومحبوكة المنطق. وأيضا فى ضوء تزايد المعلومات عن الزلازل والبراكين وعمليات البركنة المختلفة، وكذلك فى ضوء فيض البيانات الحديثة التى جاءت بها الأقمار الصناعية الخاصة برصد العناصر الجوية والمرئيات الفضائية للظاهرات الجوية خاصة المنخفضات الجوية والأعاصير والزوابع المدارية، وتكّون السحب وإظهار مراحل نشأتها وتكونها وأحجامها وغير ذلك، والبيانات التى أتت بها الأقمار الصناعية عن الغطاء البناتى الطبيعى وامتداده وانحساره وأمراضه البيئية، والتلوث ومصادره وانتشاره... فى ضوء ذلك كله رأيت أن ظهور طبعة حديثة منقحه ومزوده سوف تكون ضخمة بصورة لاتصلح للاستفادة منها.

لذا رأيت أنه من المناسب تفكيك كتاب أسس الجغرافيا الطبيعية فى سلسلة من الكتب أولها يختص بدراسة سطح الأرض، والثانى يختص بدراسة الغلاف الجوى وعناصره وعملياته وظواهره ومفهوم المناخ والأقليم المناخى ومن ثم عرض للأقاليم المناخية على سطح يابس الأرض، وقد ظهر فعلا هذا الكتاب فى صورة أولية فى عامى ٨٩ / ١٩٩٠، ٩٠/١٩٩١، والثالث يختص بالجغرافيا الحيوية المكاروسكوبية، والرابع ويختص بدراسة البيئة والنظم البيئية والتلوث البيئى.

وهذا الكتاب بعنوان «سطح الأرض – دراسة فى جغرافية التضاريس» هو الكتاب الأول. وهو يعالج الإطار التضاريسى العام لسطح الأرض الذى يشكل المسرح الطبيعى الذى يعيش عليه وفيه الإنسان. والمعلومات الخاصة بهذا الإطار تيسر للجغرافى دراسة كيفية إستغلال أرض هذا المسرح وتربته وبحاره وأنهاره وسهوله وأحواضه وموارده، وذلك عن طريق دراسة ظواهره التضاريسية الكبرى – تضاريس المرتبة الأولى – دراسة تحليلية ومعرفة العوامل التى أنشأتها وشكلتها وأيضا توزيعها الجغرافى.

ويقع هذا الكتاب فى سبعة فصول تتابع فى نسق متكامل، يختص الفصل الأول بدراسة الفضاء الكونى والنظام الشمسى. ويختص الفصل الثانى بدراسة نشأة المجموعة الشمسية والأرض فرد منها فى ضوء الأفكار والفرضيات الحديثة وكذلك الخصائص الفيزيائية العامة الخاصة بتركيبها ومادتها ودرجة حرارتها ومغناطيسيتها ومجالها المغناطيسى وتوزان قشرتها. أما الفصل الثالث فيعنى بدراسة المعادن والصخور المكوّنه للقشرة الأرضية والعمليات الطبيعية وراء تكوّن مجموعات الصخور المختلفة. ويختص الفصل الرابع بدراسة نشأة القارات

والمحيطات فى ضوء نظريتين فقط هما: نظرية زحزحة القارات ونظرية الألواح التكتونية. وكذلك الكتل القارية القديمة المستقرة وتوضيح مناطق الضعف الجيولوجى والدورات البانية للجبال وتوزيع السلاسل الجبلية الناشئة عنها. وإذا كان الفصل الثالث يدرس مكونات القشرة الأرضية فإن الفصل الخامس يدرس القوى الباطنية التى تشكل القشرة الأرضية، والفصل السادس يدرس القوى الخارجية التى تحدث فوق سطح القشرة القارية بمساعدة الغلاف الجوى. أما الفصل السابع فيعنى بدراسة عمر الأرض والطرق المختلفة لتحديد هذا العمر والعامود الجيولوجى العام ومقياس الزمن والجغرافيا الطبيعية القديمة للأرض خلال الاحقاب والعصور الجيولوجية المتتابعة حتى العصر الراهن.

وقد زود الكتاب بعدد كبير من الأشكال التوضيحية وذلك لتيسير فهم الموضوعات التى جاءت به فى سهولة ويسر، وقائمة وافية من المراجع العربية وغير العربية.

وإننى إذا قدم هذا الجهد لزملائى وتلاميذى أسأل الله العلىّ القدير لهم الفائدة والنفع به والله وحده ولىّ التوفيق.

الاسكندرية - ٢٠٠٢ د. أحمد أحمد مصطفى

الفصل الأول

الفضاء الكوني والنظام الشمسي

- الفضاء الكوني.
- النظام الشمسي.

أولاً: الشمس.

ثانياً: الكواكب وتوابعها.

١- مجموعة الكواكب الداخلية القريبة من الشمس.

٢- مجموعة الكواكب الخارجية البعيدة عن الشمس.

ثالثاً: المذنبات والنيازك والشهب.

١- المذنبات.

٢- النيازك.

٣- الشهب.

الفصل الأول

الفضاء الكوني والنظام الشمسي

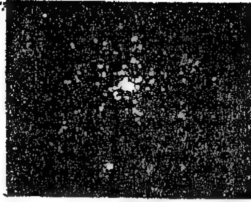
الفضاء الكوني The Universe:

يعرف الفضاء الكونى بأنه الوسط الذى لا أثر للهواء فيه، وبذلك تنعدم خلاله معوقات أو مقومات حركة الأجسام أو الأجرام التى تسبح فيه. وليس للفضاء الكونى حدود واضحة ولا تظهر له نهاية معينة فهو شاسع الاتساع توجد فيه الأجرام السماوية. كما أنه ذا كثافات متباينة فى مختلف أجزائه تنتشر فيه طاقات من الضوء والحرارة وغازات متفاوتة الكثافة وسحب غازية وجسيمات متناهية فى الصغر عظيمة الحركة لا حصر لها تعرف بالغبار الكونى، وسحب غازية تتكون من غبار كونى مختلط بغازات متوهجة تعرف بالسدم Nebula وهى ذات أشكال مختلفة من أبرزها السدم الحلزونية Spiral Nebula التى تشبه العجلة الدوارة ويخرج منها ذراعان أو أكثر يدوران معها فى شكل حلزونى. ويوجد أيضاً فى الفضاء الكونى وحدات عظمى لا حصر لها هى المجرات Galaxies. وقد أحصى الدارسون فى الفضاء الكونى المدرك نحو ٢٠٠ بليون مجرة تتفاوت فى الشكل وفى الحجم وفى الكتلة وفى سرعة الحركة سواء كانت حول محورها أو مركزها أو فى التباعد عنا، وأيضاً فى ميلاد وتطور النجوم التى بها. وبالنسبة للشكل فهناك المجرات البيضاوية والحلزونية وغير المنتظمة والغريبة فى الشكل، ومن حيث الحجم فهناك المجرات القزمية والمجرات العملاقة. وتتجمع المجرات فى شكل مجموعات محلية Local Groups تضم العشرات من المجرات (شكل ١)، كما تتجمع المجموعات المحلية فى وحدات أكبر تعرف بالتجمعات المجرية Galactic Clusters التى تضم من مئات إلى عشرات الآلاف من مختلف أنواع المجرات والتى تعرف الدارسون على الآلاف منها. وتتجمع التجمعات المجرية فى وحدات أكبر تعرف بالمجموعات المحلية العظمى Local Super Groups التى تتجمع بدورها فى وحدات أكبر

تعرف باسم التجمعات المجرية العظمى Galactic Super Clusters والتى تحوى مائة تجمع محلى أعظم. وقد أحصى الدارسون منها ١٦ تجمعاً فى مسافة ٢٠ بليون سنة ضوئية من الأرض(*). وتتجمع التجمعات المجرية العظمى فى وحدات أعظم تعرف باسم تجمعات التجمعات المجرية العظمى Clusters of Galactic Superclusters. ويضم التجمع المجرى الأعظم الذى تنتسب إليه مجرتنا مائة من التجمعات المجرية العظمى على هيئة قرص يبلغ قطره ١٠٠ مليون سنة ضوئية وسمكه ١٠ مليون سنة ضوئية. وقد اكتشف مؤخراً تجمعاً مجرياً عظيماً يبلغ طوله ١,٥ بليون سنة ضوئية وعرضه ٢٠٠ مليون سنة ضوئية.

وتتكون المجموعة المحلية التى تنتمى إليها المجرة التى تحتل المجموعة الشمسية جزء منها وتعرف بمجرة طريق أو درب التبانة أو الطريق اللبنى Milky Way من ٢٧ مجرة. وتتكون كل مجرة من عدد لا يحصى من النجوم أو الشموس التى تبعد عن بعضها البعض بآلاف الملايين من الكيلو مترات، وتنتشر بينها الغازات والسحب والأتربة الكونية وذرات العناصر الثقيلة، كما هو الحال فى مجرة طريق التبانة الذى تتزاحم عليه النجوم والشموس وسحب من الأتربة والغبار الكونى والغازات التى ينتج عنها ما يشبه الضباب الكثيف. وتعد مجرة طريق التبانة عند مقارنتها بالمجرات الأخرى مجرة متوسطة الحجم حيث المسافة من الحافة إلى الحافة عبر قرصها المفرطح المضىء ١٠٠ ألف سنة ضوئية، أما سمك منطقتها المركزية التى تتكاثر وتتكدس فيها النجوم بشدة فيصل إلى ٢٥ ألف سنة ضوئية (شكل ٢). وهناك مجرات قزمية تحتوى على عدد من النجوم لا يزيد عن بضعة ملايين فقط، ومجرات عملاقة عبارة عن مجموعة ضخمة من عناقيد النجوم تظهر على شكل سدم تعرف بالسدم الكاذبة Pseudo-nebula. وتحتوى مجرة طريق التبانة على تريليون (مليون مليون)

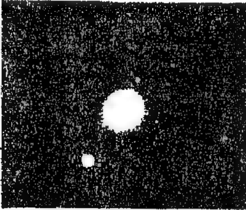
(*) السنة الضوئية هى وحدة القياس المستخدمة فى تقدير الأبعاد بين الأجرام السماوية، وهى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة بسرعته التى تبلغ ٣ × $١٠^{٨}$ متراً/ الثانية أى ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية الواحدة.



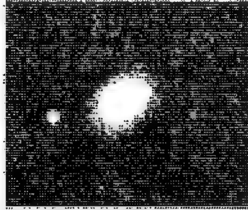
afS2 NGC 7793



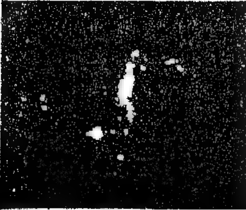
fgS2 NGC 1566



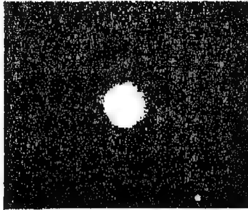
kE2 NGC 1404



kD4 NGC 1553



aB2 NGC 1313



kB2 NGC 1398

شكل رقم (١)

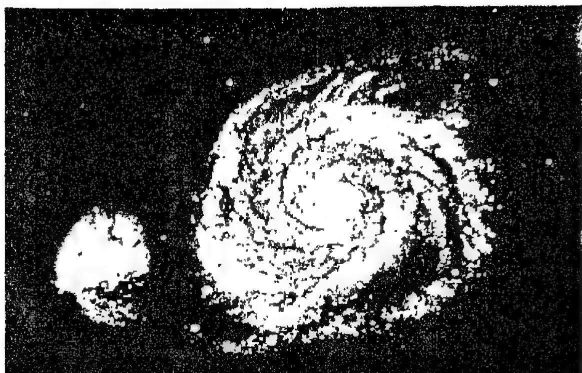
بعض أشكال المجرات في الفضاء الكوني

الارقام تحت كل صوره هي رقم الصوره في الكتالوج العالمي

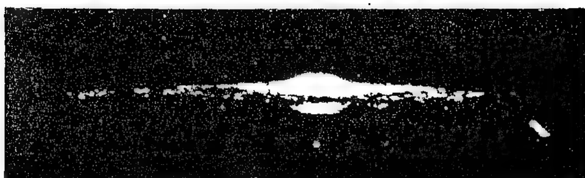
s= مجري حلزونية.　　E= مجرة بيضاوية.

D= مجره لاتحتوي علي غبار كوني.　　B= مجره شبه حلزونية

(مرصد جبل ويلسون)





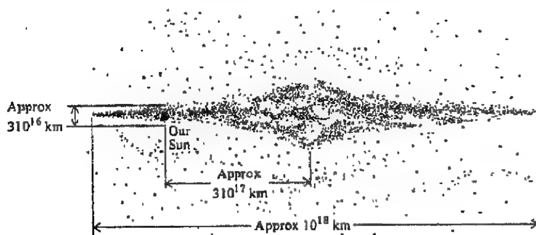


تابع شكل رقم (١)

مجرة حلزونيه تشبه العجلة الدوارة (الصور من زاويا مختلفة)

(مرصد جبل ويلسون)

من النجوم المتناثرة المحاطة بسحب من الغازات والغبار. ويبلغ متوسط الأبعاد التى تفصل بين تلك النجوم بعضها عن بعض نحو سبع سنوات ضوئية، وتقل هذه المسافة كلما اتجهنا نحو المركز وتزيد كلما اتجهنا نحو الأطراف، أى بالاقتراب من المركز تزداد النجوم تزاحماً وتكاثفاً . ولمجرتنا – طريق التبانة – نواة مركزية تحتوى على حشد كثيف من النجوم وحلقة من غاز الهيدروجين تدور حولها. وترتبط النجوم فى المجرة مع بعضها البعض بقوى الجاذبية مكونة نظاماً متماسكاً يتحرك فى الفضاء الكونى كجسم واحد. وتدور مجرتنا دورة واحدة كاملة حول مركزها فى مدة تقدر بنحو ٢٥٠ مليون سنة أرضية، وهذا هو يومها، ولها أربع أذرع حلزونية يبلغ سمك أطرافها نحو ٢٦٠٠ سنة ضوئية.



شكل رقم (٢)

مجرة درب التبانة وموقع المجموعة الشمسية بها

وتتباين المسافات بين النجوم فى الفضاء الكونى داخل مجرة طريق التبانة تبايناً شاسعاً، فأقرب النجوم أو مجموعاتها يصل ضوؤها إلى مجموعتنا الشمسية فى بضع سنين ضوئية وأبعدها يصل ضوؤها فى حوالى ١٠٠٠ سنة ضوئية. ولزيادة توضيح الأبعاد الشاسعة بين النجوم فى الفضاء الكونى المترامى الأطراف، نضرب مثلاً بموجات الراديو والمسافات التى تقطعها بين نجوم مجرتنا فقط، فعند إرسال إشارة بالراديو من الأرض نحو الفضاء الخارجى فإنها تستغرق نحو ١,٢٨ ثانية لتصل إلى القمر، ٨ دقائق لتصل إلى الشمس،

٤ سنوات تقريباً لتصل إلى أقرب نجم لمجموعتنا الشمسية والذى يعرف باسم Proxima Centauri، ونحو ٢٠ سنة لكى تصل إلى نجم آخر يبعد قليلاً عن مجموعتنا الشمسية يعرف باسم Delta Pavonis، ونحو ٢,٢ مليون سنة أرضية لتصل إلى أقرب المجرات إلى مجرتنا والتى يمكن رؤيتها بالعين المجردة وتعرف باسم مجرة المرأة المسلسلة أو أندروميدا Andromeda Spira والتى تتميز بكثرة الغازات فى بعض أرجائها، كما تلمع فيها كثير من النجوم التى تعرف بالنجوم البراقة وذلك لعظم توهجها وشدة لمعانها.

وتختلف النجوم البراقة عن نجم الشمس فى أنها سريعاً ما تنفجر لعدم اتزانها بسبب زيادة ما تفقده من الطاقة التى تتولد بداخلها بعمليات التفاعل النووى وذلك عن طريق الإشعاع المتزايد من سطوحها إلى الفضاء. وينتج عن انفجار تلك النجوم تناثر كميات هائلة من حطام المادة وعناصرها التى تتكون منها فى الفضاء، بعضها يتجمع فى ظل النجوم المجاورة وينشأ عنها كواكب سيارة. ويعتقد الدارسون أنه ينفجر نجم واحد من النجوم البراقة المتوهجة فى مجرة طريق التبانة كل فترة تتراوح بين ٢٠٠، ٣٠٠ سنة أرضية فى المتوسط. وتبعاً لذلك يكون قد انفجر نحو عشرة ملايين من تلك النجوم منذ نشأة تلك المجرة. وإذا صح ذلك فإنه يتوقع أن يكون فى مجرة طريق التبانة عدة ملايين من مجموعات الكواكب السيارة حول نجوم (شموس) تشبه فى مضمونها المجموعة الشمسية.

النظام الشمسي The Solar System:

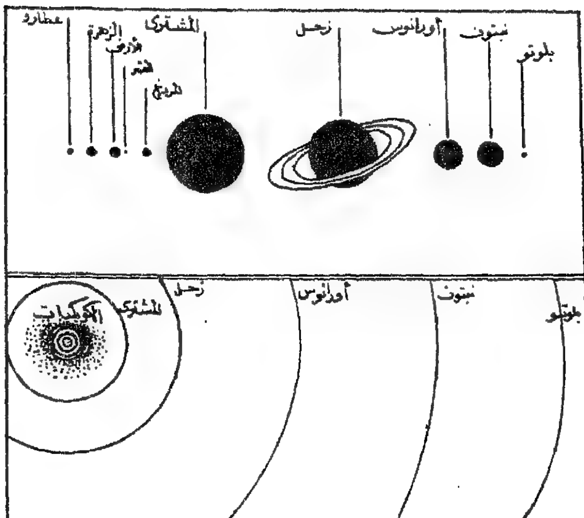
تعد المجموعة الشمسية وأفرادها من كواكب وتوابع (أقمار) أو ما يعرف بالنظام الشمسى واحدة من الوحدات التى تتكون منها مجرة طريق التبانة، وهى تبعد عن مركزها بنحو ٣٥ ألف سنة ضوئية. والجزء من الفضاء الكونى الذى تسبح فيه أفراد المجموعة الشمسية لا يتعدى فى جملته جزءاً متناهياً فى الصغر بالنسبة للفضاء الكونى المدرك. وتستخدم فى تقدير المسافات عبر هذا الفضاء الكونى القريب الوحدة الفلكية الدولية وهى متوسط بعد الأرض عن الشمس وتساوى ١٥٠ مليون كيلو متر. وتجرى المجموعة الشمسية حول مركز المجرة

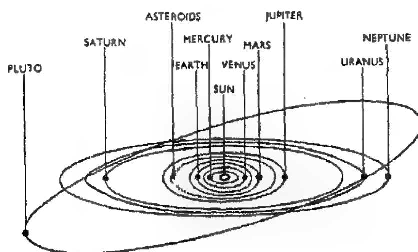
بسرعة تقدر بنحو ٣٠٠ ألف كيلو متر/ الثانية، وتتم دورة واحدة كاملة فى ٢٠٠ مليون سنة أرضية وذلك فى وضع مائل على مستوى استواء المجرة.

ويتكون النظام الشمسى من نجم الشمس الذى يتوسط مجموعة من تسعة كواكب سيارة رئيسية Planets هى : عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشترى، زحل، أورانوس، نبتون، بلوتو وتوابعها Satellites التى تقدر بحوالى ٦١ قمراً ثم نطاق المذنبات التى لا يعرف حدودها حتى الآن. وهناك نطاق من الكويكبات بين المريخ والمشترى يظن أنه بقايا كوكب عاشر قد انفجر. وهناك احتمال بوجود كوكب حادى عشر لم يتم كشفه أو رصده بعد، ولكن تم التوقع بوجوده بواسطة الحسابات الفلكية الحديثة، وقد أطلق عليه العلماء اسم بروسوبينا أو أوبربينا، وتقدر المسافة بينه وبين الشمس بنحو ١٢ ألف مليون كيلو متر. ثم يأتى بعده نطاق المذنبات الذى يبعد عن الشمس عشرات أضعاف المسافة الأخيرة (شكل ٣). وتدور تلك الكواكب حول الشمس فى مدارات بيضاوية الشكل تعرف بالقطاعات الناقصة Elliptical Orbits، ولهذا يتغير البعد بين الشمس والكواكب أثناء دوران الأخيرة فى مداراتها. على سبيل المثال يبلغ أقل بعد بين الأرض والشمس ١٤٧ مليون كيلو متراً، وأكبر بعد ١٥٢ مليون كيلو متراً. وتخضع المسافات بين مدارات الكواكب لنظام ثابت لا يتغير. كما تدور الكواكب فى مستوى واحد تقريباً يعرف بمستوى دائرة البروج أو مستوى الكسوف والخسوف، وفى إتجاه واحد. وتدور أيضاً حول محورها فى إتجاه دورانها حول الشمس. وفيما يلى عرض مبسط لمكونات النظام الشمسى.

أولاً: الشمس The Sun:

عبارة عن نجم من النجوم التى تسبح فى الفضاء الكونى، وهى أهم وأبهى نجم فى الكون بالنسبة لسكان الأرض (شكل ٤). والشمس نجم متوسط فى صفاته وخصائصه وعمره، فهو نجم متوسط الحجم ليس بالنجم القزمى الأزرق أو بالنجم العملاق الأحمر بل نجم متوسط أصفر. وهو متوسط فى درجة لمعانه وتوهجه ليس بالنجم الأزرق شديد اللمعان أو بالنجم الأحمر خافت اللمعان بل هو نجم أصفر متوسط اللمعان. وهو نجم متزن فى نشاطه النووى ليس بالنجم





شكل رقم (٢)

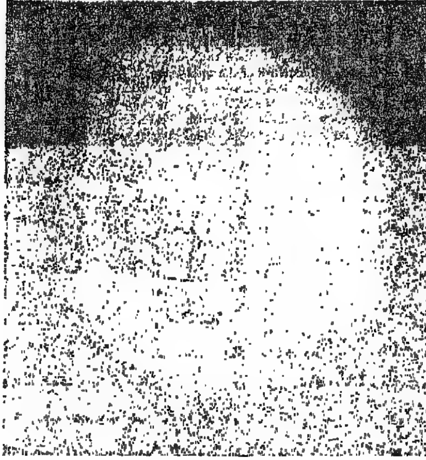
المجموعة الشمسية

الشكل العلوي يوضح الحجم النسبي بين أفرادها.
الشكل الأوسط يوضح الأبعاد النسبية بين أفرادها.
الشكل السفلي يوضح مدارات أفرادها.

الأزرق عالى النشاط النووى وفى طريقه إلى الانفجار والفناء ولا بالنجم خافت اللمعان نشاطه النووى محدود. وهو نجم متوسط فى درجة حرارة سطحه من الفئة ج التى يبلغ درجة حرارة سطحها نحو ٦٠٠٠ درجة مئوية وليس بالنجم من الفئة ب الذى يتراوح درجة حرارة سطحه بين ١٤، ٢١ ألف درجة مئوية، ولا بالنجم من الفئة ن الذى يتراوح درجة حرارة سطحه بين ١٨٠٠، ٢١٠٠ درجة مئوية(*). ويبلغ طول قطر الشمس ١,٣٩٢,٠٠٠ كيلو متراً (٧٥٦٠ x ١٠^{٦} كم)، وطول محيطها أكبر بحوالى ١٠٠ مرة من محيط الأرض وحجمها يساوى ١,٣ مليون ضعف حجم الأرض، وكتلتها أكبر من كتلة الأرض بمقدار ٣٣٣ ألف مرة تقريباً (١,٩٩ x ١٠^{٢٧} طن)، ويقدر متوسط كثافتها بحوالى ١,٤١ جرام/ سم^{٣} بينما يصل كثافة لبها إلى ٩٠ جرام/ سم^{٣}.وتبلغ درجة حرارة سطحها ٥٨٥٠ درجة مطلقة ترتفع إلى ١٥ مليون درجة مطلقة فى المركز(**). وكل الطاقة الحرارية التى يستمدها النظام الشمسى مصدرها نجم الشمس، وتستطيع تلك الطاقة الحرارية أن تصهر وتبخر أى مادة. وتتكون الشمس من عنصرين رئيسيين هما الهيدروجين بنسبة تتراوح بين ٧٠، ٧٥٪ والهليوم بنسبة تتراوح بين ٢٣، ٢٨٪ وعناصر أخرى تمثل النسبة الباقية مثل الحديد والكالسيوم والتيتانيوم والزريكون والكربون والسليكون والمغنسيوم والأوكسيجين والنيتروجين والفلورين والنيون والبورون والبيريليوم والكيانوجين، لذا فإن كثافة الشمس أقل بكثير من كثافة الأرض وتعادل ٢٥٪ من كثافتها أى أنها قريبة من كثافة الماء. وتنتج الطاقة أساساً من تحول الهيدروجين إلى هليوم بعملية الاندماج النووى، وتستمر تلك العملية لانتاج كمية طفيفة من عناصر أعلى فى وزنها الذرى.

(*) تنقسم النجوم تبعاً لدرجة حرارة سطوحها إلى الفئات: ب، أ، ف ج، ك، م، ر، ن.

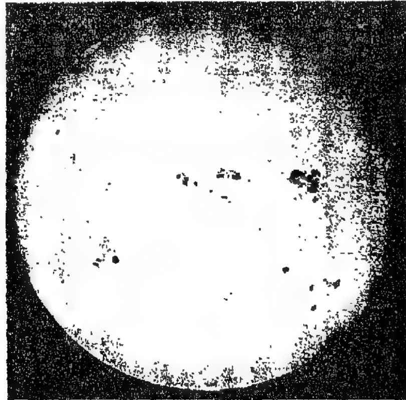
(**) صفر الدرجة المطلقة يساوى ٢٧٣ درجة مئوية تحت الصفر ويسمى صفر كالفن، كما تعرف درجة الحرارة المطلقة لأى جسم بدرجة كالفن، فنقول مثلاً أن درجة حرارة سطح الشمس تساوى ٥٨٥٠ كالفن ترتفع إلى ١٥ مليون كالفن فى المركز.



شكل رقم (٤)

نجم الشمس ويظهر على القرص مجموعتين كبيريتين من البقع الشمسية (١٧ أغسطس ١٩٥٩)

(مرصد جبل ويلسون)



تابع شكل رقم (٤)

نجم الشمس ويظهر على القرص مجموعتين كبيريتين من البقع الشمسية (١٢ أغسطس ١٩١٧)

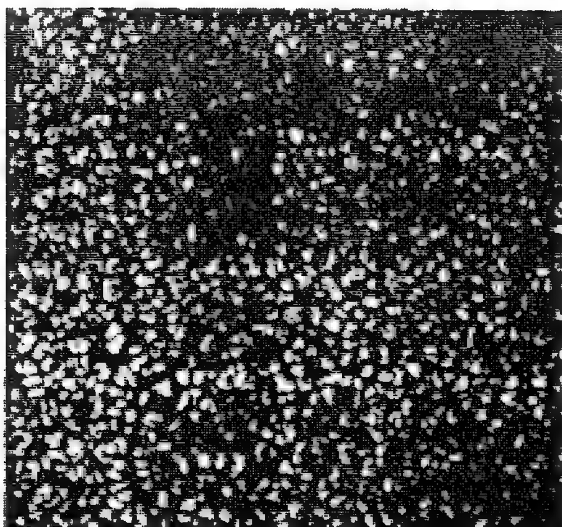
(مرصد جرينتش)

وتتركب الشمس من أربعة أجزاء :

١- النواة: وتمثل باطن الشمس وتتركب من غاز الهيدروچين وغاز الهليوم الذرى (H4) الذى نتج من تعرض غاز الهيدروچين لدرجات حرارة عالية جداً تقدر بالملايين فيؤدى ذلك إلى حركة اضطرابية عنيفة فتدخل ذرات الهيدروچين فى سلسلة من التصادم والالتصاق والاندماج. وينجم عن اندماج ذرات الهيدروچين تكوّن غاز الهليوم. وكتلة غاز الهليوم الناتجة من هذا التفاعل أقل من كتلة غاز الهيدروچين الداخلة فى التفاعل، والفرق بين الكتلتين يتحول إلى طاقة تؤدى إلى حدوث انفجارات نووية. فكتلة ذرات الهيدروچين الأربع تعادل ٤,٠٣٢ (١,٠٠٨ × ٤) فى حين تبلغ كتلة ذرة الهليوم الناتجة ٤,٠٠٣ والفرق بينهما يبلغ ٠,٠٢٩، والطاقة المنبعثة من فرق الكتلة هائلة ويحددها معادلة اينشتاين ($E = mC^2$، حيث m فارق الكتلة، C سرعة الضوء). ويمثل الهيدروچين الوقود لهذا الفرن الهائل الذى يتم استهلاكه وتحويله إلى هليوم وتشير تقديرات بعض العلماء أن الشمس قد استهلكت حوالى نصف كمية الهيدروچين (الوقود) بها منذ نشأتها حتى الآن.

٢- الطبقة المضيئة (الفوتوسفير Photosphere)، وهى الطبقة البيضاء اللامعة وتتركب من غازات الهيدروچين (٩٠٪) والهليوم (١٠٪) وغازات أخرى (بنسب طفيفة للغاية) وكلها ساخنة، ويصل سمكها إلى ٣٠٠ كيلو متر. ويبدو سطح هذه الطبقة خشناً وفى تغير مستمر وكأنه مغطى بحبيبات Granules تنتج عن الحركة الغليانية للغازات الموجودة فى باطنها (شكل ٥)، كما يشاهد على سطح هذه الطبقة المضيئة مناطق كبيرة أقل حرارة نسبياً من المناطق المجاورة وتبدو داكنة، ومناطق بيضاء لامعة أشد حرارة.

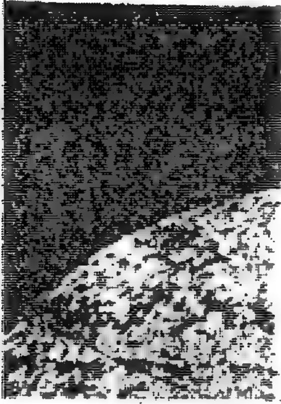
٣- طبقة الغلاف الغازي الشمسي الملونة (الكروموسفير Chromosphere)، وهى طبقة من الغازات المتوهجة يتراوح سمكها بين ٧٠٠٠، ١٠,٠٠٠ كيلو متراً، ويمكن ملاحظتها على شكل حافة حمراء رقيقة حول الشمس، وتتكون من غازات الهيدروچين والهليوم، وتبلغ درجة حرارتها فى المتوسط نحو ٢٠,٠٠٠



شكل رقم (٥)

(أ) سطح طبقة الفوتوسفير البيضاء اللامعة تبدو وكأنها مغطاه بحبيبات البرغل

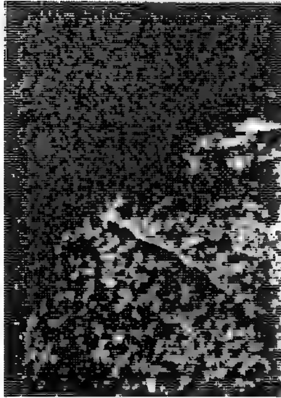
(مرصد جبل ويلسون)



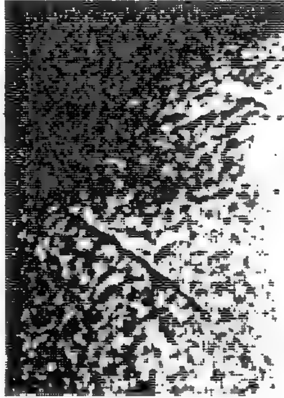
August 26



August 27



August 28

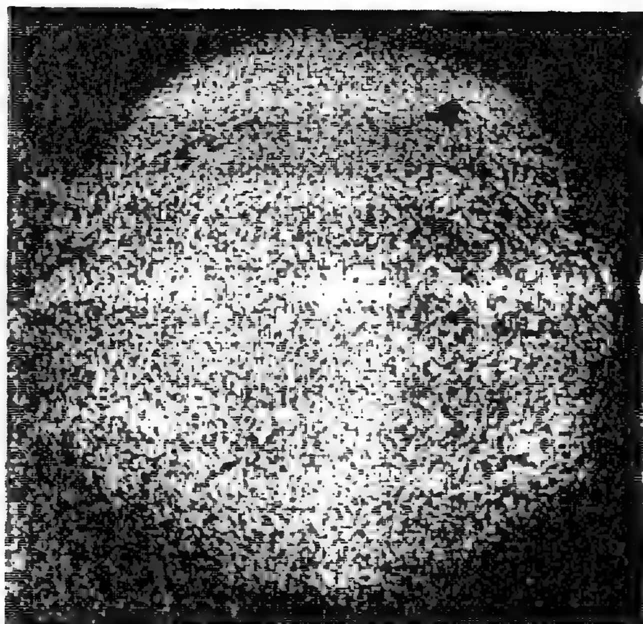


August 29

شكل رقم (٥)

(ب) سطح طبقة الفوتوسفير المبرغل ويبدو عليه خط مسار عاصفة شمسية ونافورة غازية عند الحافة.

(مرصد جبل ويلسون)



شكل رقم (٥)

(جـ) سطح طبقة الفوتوسفير المبرغل والعواصف الشمسية

(مرصد جبل ويلسون)

درجة. ويتميز الغلاف الغازى الشمسى بشدة نشاطه وتنبعث منه توهجات طيفية يمكن ملاحظتها عند كسوف الشمس. وهذه التوهجات عبارة عن نافورات غازية هائلة الحجم تندفع بسرعة تصل إلى ٣٠ كيلو متراً في الثانية، ولا يزيد فترة اندفاع النافورة الواحدة على بضع دقائق (شكل ٦).

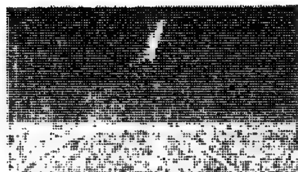
٤- طبقة الأكليل (الكورونا Corona): وتمثل الجزء الخارجى من طبقة الغلاف الجوى الشمسى، وهى طبقة متأينة ولونها أبيض فضى وتحيط بالشمس لمسافات تبلغ مليون كيلو متراً وتصل درجة حرارتها إلى حوالى ٢ مليون درجة مطلقة (شكل ٧). وتنطلق الغازات المتأينة عند الحافة الخارجية للاكليل نحو الخارج نحو فضاء المجموعة الشمسية ناحية الكواكب بسرعة كبيرة تصل إلى ٥٠٠ كيلو متراً فى الثانية، ومن ثم تستطيع الهروب والإفلات من مجال جاذبية الشمس. وهذه الغازات تنطلق على شكل جزئيات غازية مشحونة كهربائياً تؤلف ما يعرف بالرياح الشمسية Solar Winds والتى تصل إلى كوكبنا الأرض فتصطدم بغازات الطبقة العليا للغلاف الجوى الأرضى حيث تتكون العواصف المغناطيسية، وبعضها يحتجز فى حزام فان ألين، أو يحدث ظاهرة الوهج القطبى المعروف باسم أورورا Orora.

كما يظهر على وجه الشمس بقع معتمة تعرف بالكلف الشمسى يأخذ عددها فى التزايد حتى يصل إلى حد أقصى ثم يتناقص تدريجياً حتى يصل إلى حد أدنى، وتعرف الفترة الزمنية التى تنقضى بين حد أقصى والذى يليه بالدورة الشمسية وطولها ١١ سنة فى المتوسط. وتحتوى تلك البقع على مجالات مغناطيسية قوية تصل إلى جو الأرض فتأثر فى الاتصالات اللاسلكية وفى الارسال التليفزيونى والراديو.

وتدور الشمس حول محورها ببطء بطريقة تفاضلية Differential Rotation، ذلك لأن قلب الشمس يتم دورته فى ٣٦,٥ يوم أرضى، بينما تتم الغازات المحيطة بهذا القلب – ويبلغ سمكها نحو ثلثى نصف قطر الشمس – دورتها فى ٢٤ يوماً أرضياً، وعلى ذلك فإن متوسط سرعة دوران الشمس حول



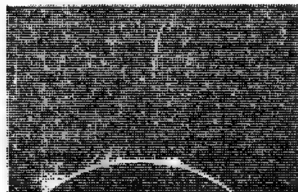
7 h. 52 min.



8 h. 35 min.



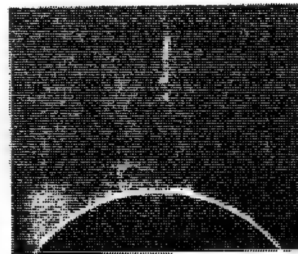
8 h. 45 min.



8 h. 52 min.



8 h. 58 min.



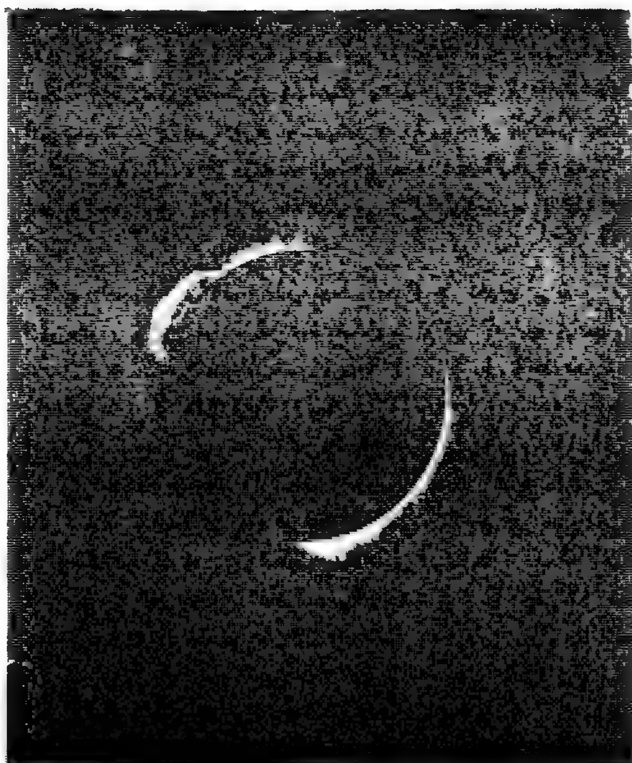
Kodaikanal Observatory

9 h. 3 min.

شكل رقم (٦)

(أ) النافورات الغازية الشمسية يصل ارتفاعها إلي نحو ٥٦٧٠٠٠ ميل في أقل من ساعتين

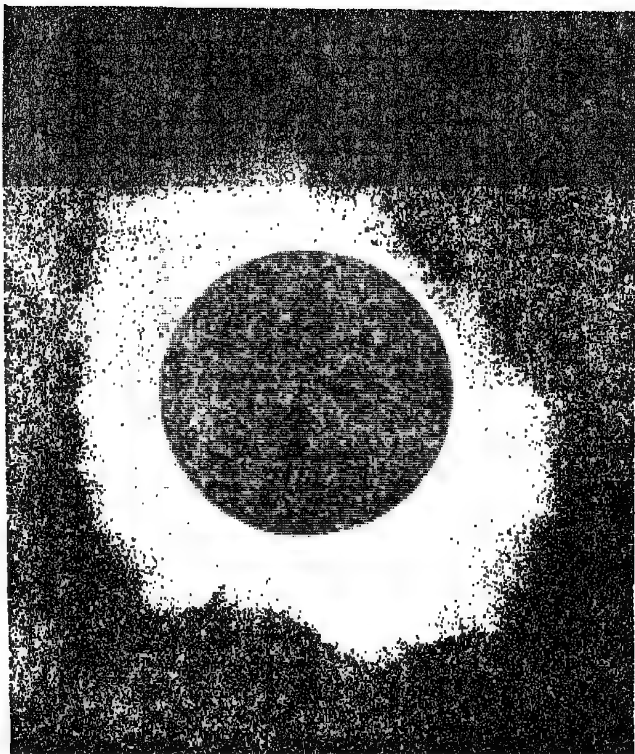
(مرصد كوداي كانال)



شكل رقم (٦)

(ب) النافورات الغازية الشمسية تندفع بمتوسط ارتفاع قدره ٢٥٠٠٠٠ ميل

(مرصد كوداي كانال)



شكل رقم (٧)

طبقة الاكليل (الكورونا)

(مرصد جبل ويلسون)

محورها يبلغ نحو ٢٧,٥ يوماً أرضياً عند استوائها ونحو ٣١ يوماً أرضياً عند قطبيها.

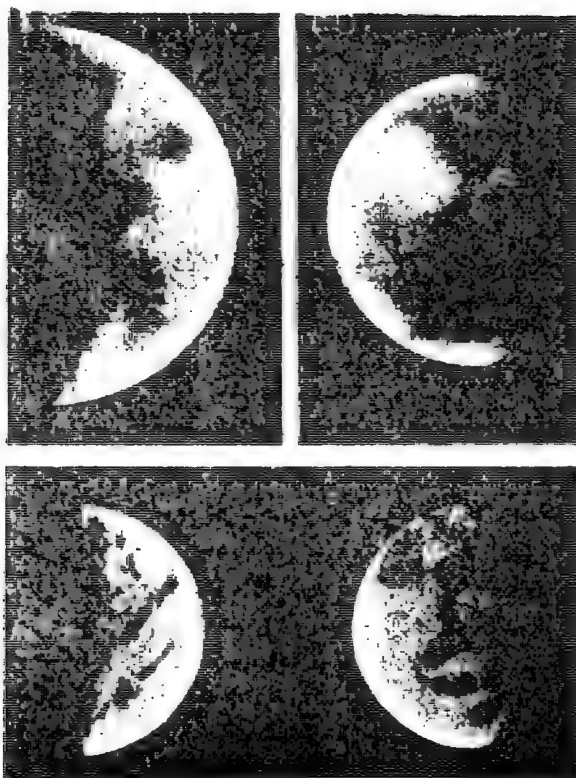
ثانياً: الكواكب The planets وتوابعها The Satellites:

ويمكن تقسيمها إلى مجموعتين حسب بعدها عن الشمس هما :

١- **مجموعة الكواكب الداخلية القريبة من الشمس:** وتشمل عطارد والزهرة والأرض والمريخ، وهى صغيرة الحجم وطبيعتها صلبة كالأرض وتتقارب فى كثافة مادتها، ولهذا السبب يطلق عليها العلماء اسم مجموعة الكواكب الأرضية.

(أ) كوكب عطارد Mercury: وهو أصغر أفراد المجموعة إذ يبلغ قطره نحو ٤٩٦٠ كيلو متراً أى نحو ٤٠ ٪ من قطر الأرض، وكتلته صغيرة تبلغ نحو ٤٠ ٪ من كتلة الأرض، وليس له غلاف جوى، كما أنه يدور فى أصغر المدارات حول الشمس ونتيجة لذلك يتم دورته حول الشمس فى ٨٨ يوماً فقط. ولعطارد دوران مقيد Captured Rotation لذا فإنه يواجه الشمس بوجه واحد دائماً، وهذا يعنى أن نصفه يتعرض دائماً لحرارة الشمس المحرقة بينما يظل النصف الآخر على حاله من البرودة الشديدة (شكل ٨). ولأن مدار عطارد حول الشمس على شكل قطع ناقص لذا نجد أن $\frac{٣}{٨}$ سطحه نهاراً دائماً، $\frac{٣}{٨}$ ظلاماً دائماً، أما الجزء المتبقى وهو ٢٥ ٪ من سطحه فتظهر الشمس منه إما فوق الأفق أو تحته مباشرة.

(ب) الزهرة Venus: ويبلغ قطره نحو ٩٧,٣ ٪ من قطر الأرض، كما تبلغ كثافته ٥,٢٧ وكتلته نحو ٨٠٪ من كتلة الأرض (شكل ٩)، وله غلاف غازى يبلغ سمكه نحو ١١٥ كيلو متراً يتكون من غاز ثانى أكسيد الكربون ويعلق به رمال كثيفة تحجب رؤيته بالتلسكوب. ويتوقع العلماء امكان نشوء حياة فوق سطح هذا الكوكب إذ يعتقدون أن الغازات التى تغلفه يمكن أن تعمل على وجود تجمعات من كائنات حية صغيرة تسبح على أمثل ارتفاع لها بالنسبة لدرجة الحرارة وكمية الضوء الشمسى هناك.



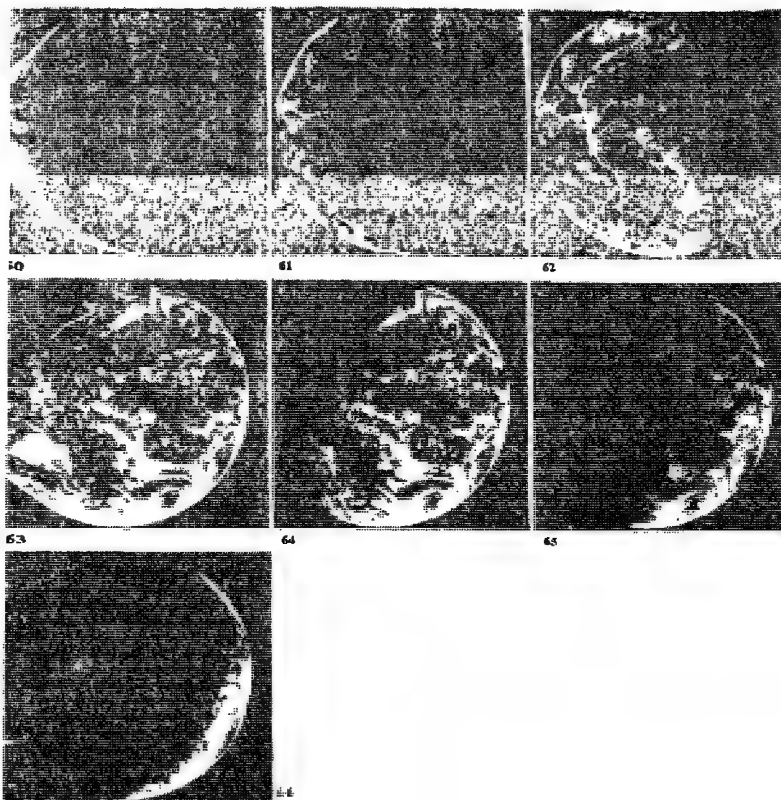
شكل رقم (٨)
الأوجه المختلفة لكوكب عطارد



شكل رقم (٩)

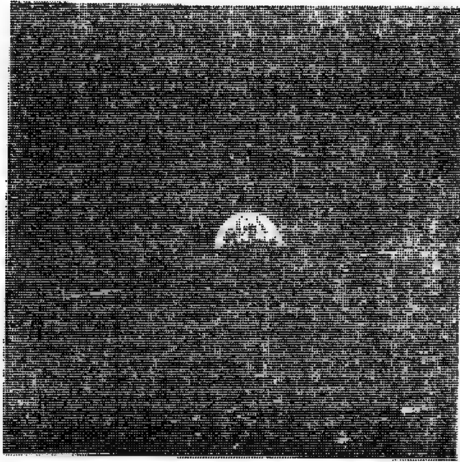
الأوجه المختلفة لكوكب الزهره

(جـ) الأرض Earth : وتحتل مركزاً متوسطاً بين كواكب المجموعة الشمسية الداخلية بالنسبة لبعده عن الشمس والذى يبلغ فى المتوسط ١٥٠ مليون كيلو متراً. وتعتبر الأرض صاحبة أعلى كثافة بالنسبة للكواكب وتبلغ ٥,٥٢ ، وتبدو الأرض من الفضاء القريب مائلة للزرقة بصفة عامة ولكن عند النظر إليها من على سطح القمر تظهر القارات بلون بنى فاتح مشوب بالحمرة، بينما تبدو المحيطات بلون أزرق مشوب بالخضرة(شكل ١٠) . كما يمكن ملاحظة ومضات ضوئية مبهرة نتيجة انعكاس ضوء الشمس من الأسطح المائية. كما يمكن ملاحظة وتتبع الدورة السنوية للنبات التى تظهر على شكل تغيرات فى لون القارات، وكذلك ملاحظة التقدم والتقهقر الموسمى للغطاء الجليدى فى العروض القطبية كما تظهر السحب واضحة تنساب فى خطوط بيضاء طويلة تفصل بينها ثغرات. ويغلف الأرض حزام من الاشعاع يعرف باسم الماجنيتوسفير والذى يمتد من ارتفاع ١٠,٠٠٠ كيلو متر إلى ارتفاع ٦٥,٠٠٠ كيلو متر والذى يحمى الأرض من الأشعة الشمسية الضارة. ويرجع السبب فى تكونه إلى المجال



شكل رقم (١٠)

(أ) صور متتابعة لكوكب الأرض من الفضاء من شروق الشمس الساعة ٧,٣٧ إلى غروبها الساعة ٢٢,٣٠ في نوفمبر ١٩٦٧ بواسطة القمر الصناعي A TSIII التابع لوكالة ناسا من ارتفاع ٣٥٦٨٠ كيلو متر من نقطة فوق مصب نهر الأمزون.



شكل رقم (١٠)

(ب) صوره فضائية لكوكب الأرض من علي سطح القمر

(مربة أبو للو ١٠)

المغناطيسي للأرض الذى يتصيد ثم يحبس الجسيمات المشحونة بالكهرباء المنطلقة من الشمس والمقبلة من الفضاء. وتتحرك الأرض حركات متباينة، ومن أظهر تلك الحركات دورانها حول محورها من الغرب إلى الشرق مرة كل ٢٤ ساعة، وهذه الحركة هى المسئولة عن تعاقب الليل والنهار، وكذلك دورانها حول الشمس مرة كل ٣٦٥,٢٥ يوماً، وهذه الحركة هى المسئولة عن تعاقب الفصول. وتمر الأرض أثناء دورانها حول الشمس أمام ١٢ مجموعة نجمية تعرف بالأبراج.

وللأرض تابع واحد هو القمر الذى يعكس ضوءاً مائل للصفرة ويبعد عنها بحوالى ٤٠٠ ألف كيلو متراً، ويزيد طول قطره قليلاً عن ٢٥٪ من طول قطر الأرض، كما تبلغ كثافته نحو ٦٧٪ من كثافة مادة الأرض، وتبلغ كتلته $\frac{١}{٨٠}$ من

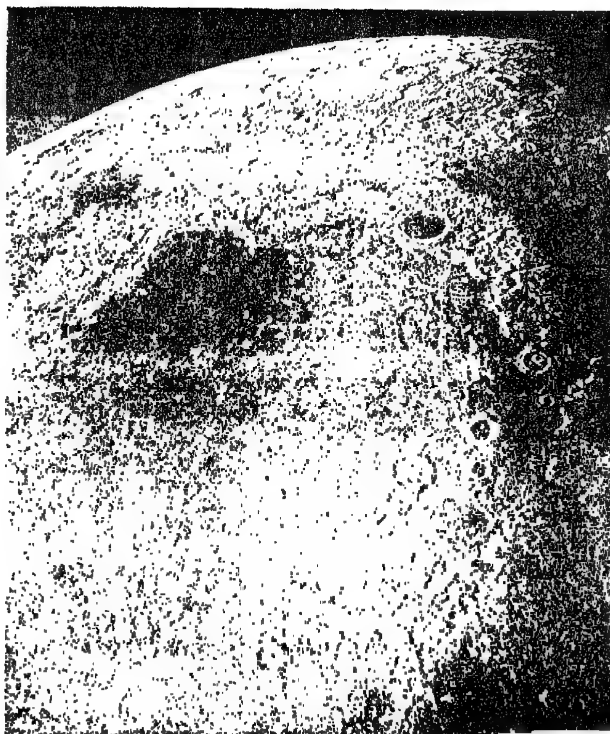
كتلة الأرض. ويدور القمر حول الأرض مرة كل $\frac{1}{3}$٢٧ يوماً، وخلال كل دورة يدور حول محوره دورة كاملة واحدة. ويتميز سطح القمر بسهولة الواسعة المظلمة والتى تسمى بالبحار، ويقمم جباله المتشققة وبآلاف الفوهات والفتحات التى نجمت عن ارتطام النيازك. والقمر ليس له غلاف جوى وبالتالى ليست به عوامل تعرية، ولذلك فإن مرتفعاته وتجاعيد سطحه مدببة وعرة (شكل ١١). كما أن المدى الحرارى على سطحه يصل إلى ٢٧٨ درجة مئوية، إذ تبلغ درجة حرارة النهار نحو ٩٣°م وتهبط فى الليل إلى ١٨٥°م تحت الصفر.

(د) المريخ Mars: يبلغ قطره نصف قطر الأرض تقريباً أى نحو ٦٧٢٠ كيلو متراً. وهو يدور حول الشمس ببطء ليكمل دورته فى ٦٨٧ يوماً أرضياً، ولا يتعدى يومه الشمس اليوم الأرضى إلا بنحو ٤٠ دقيقة. وقد قامت المركبات الفضائية مارينر ٤ (١٩٦٤/١٩٦٥) ومارينر ٦، ومارينر ٧ (١٩٦٩) ومارينر ٩ (١٩٧١) بالتقاط صوراً عديدة للمريخ، وفايكنج ١، وفايكنج ٢ (١٩٧٥) وقد زودتا بآلات تصوير متطورة للاستشعار من بعد ذات قدرة تمييزية قدرها ٥٠ متراً وبجهاز للكشف عن الماء فى الجو وذلك من ارتفاع ١٥٠٠ كيلو متر من سطح الكوكب وقد تبين من تحليل البيانات أن درجة حرارة سطح المريخ منخفضة جداً تصل إلى ٣٠° تحت الصفر فى منتصف النهار، وإلى ٨٦° تحت الصفر بعد غروب الشمس، وأن الضغط الجوى يصل إلى $\frac{1}{100}$ من الضغط الجوى للأرض، وان سطح المريخ عبارة عن صحراء جرداء ذات لون يميل إلى الحمرة حيث توجد طبقة رقيقة من أكاسيد الحديد، وان الرواسب السطحية تتميز بتماسك وتلاحم حبيباتها، وأن المكونات الرئيسية لها عبارة عن حديد، كالسيوم، سيليكون، تيتانيوم، وألومنيوم وعناصر ثقيلة مثل الربيديوم والاسترانشيوم كما توجد كمية وفيرة من الأكسيچين متحد مع العناصر مكوناً أكاسيدها. ويتشكل سطح المريخ بفوهات عميقة وتجاويف نتيجة سقوط وارتطام الشهب والنيازك بسطحه (شكل ١٢). وللمريخ قمران صغيران هما: فوبوس Phobos (الرعب) ودايموس Deimos (الهول).



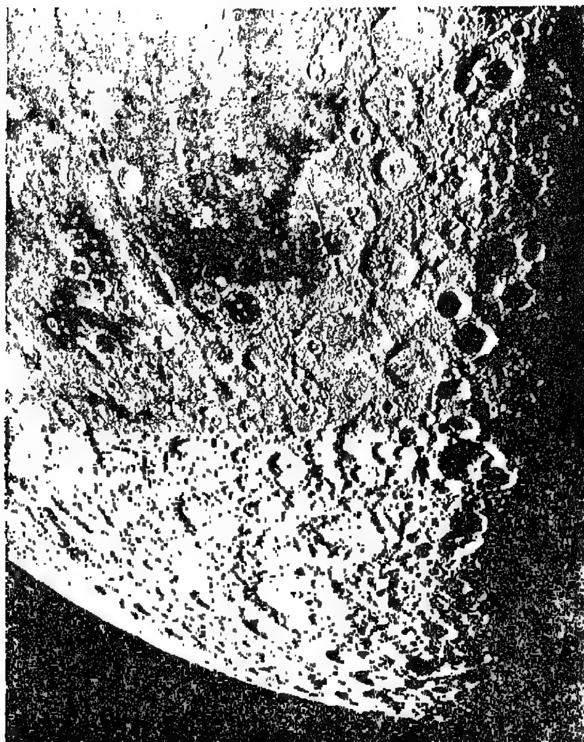
شكل رقم (١١)

(أ)صوره للقمر وعمره ١٢,٥ يوماً.



شكل رقم (١١)

(ب) صوره لجزء من النصف الشمالي للقمر ويظهر أحد بحار القمر الواسعة (بحر إمبريوم Mara Imbrium) كما تظهر سلسلة جبال ابنين Apennines تحف بالجانب الأيمن السفلي للبحر، وبعض من الفوهات البسيطة والمركبة.



شكل رقم (١١)

(جـ) صوره لجزء من النصف الجنوبي للقمر ويظهر أحد بحار القمر محدودة الاتساع (بحر هوموريوم (Mara Humorum) في الجانب الأيسر العلوي من الصوره، كما تظهر كثير من الفوهات.



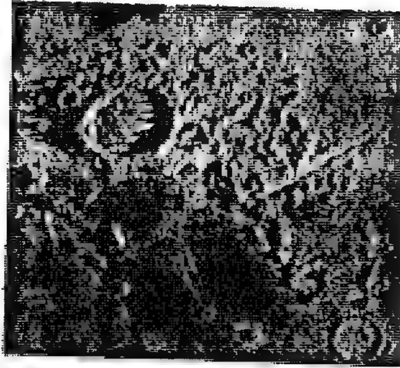
شكل رقم (١١)

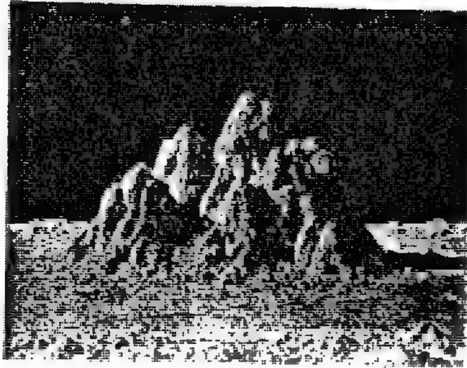
(د) صوره لجزء من سطح القمر وهو في طور البدر، المناطق الداكنه هي البحار القمرية.



شكل رقم (١١)

(هـ) صوره لسلسلة جبال أبنين على سطح القمر، وتظهر فوهة أرشميدس الضخمة.

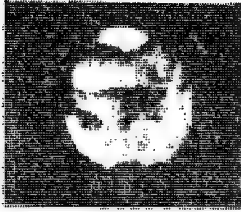


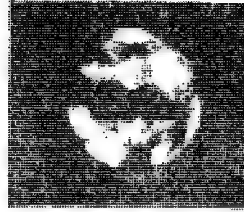


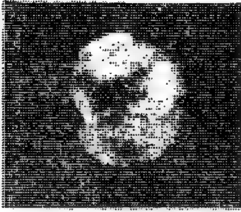
شكل رقم (١١)

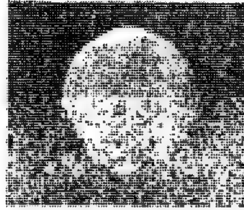
(و) الصوره العليا: فوهة بلوتو، وفي منتصف المسافة تقريبا بينها وبين الفوهة التي تقع عند الركن الأيمن السفلي منطقة خطية منخفضة هي وادي الألب.

الصورة السفلي: منطقة جبلية منعزلـة إلي الجنوب من فوهة بلوتو يبلغ ارتفاعها نحو ٨٠٠٠ قدم فوق المنطقة م السهلية المحيطة بها.









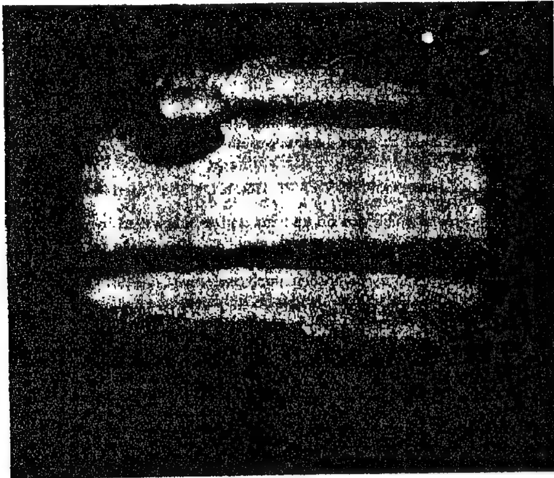
شكل رقم (١٢)
الأوجه المختلفة لكوكب المريخ

(مرصد جبل ويلسون)

وينتشر فى الفراغ الشاسع بين المريخ والمشترى تجمع أكثر من ١٥٠٠ كويكب يتراوح أقطارها بين الكيلومتر الواحد وعدة مئات من الكيلو مترات، ولا يزيد كتلة تلك المجموعة عن ٠,٠٠٢ من كتلة الأرض. ويعرف هذا التجمع باسم الكويكبات Asteroids، وقد اكتشفها فى أول يناير من عام ١٨٠١ الفلكى الإيطالى بياتزى G. Piazzi. وتشغل مجموعة الكويكبات نطاق عريض يبلغ اتساعه نحو ٢٤ مليون كيلو متر، ويعتقد أنها تشكل حطام كوكب انفجر وتناثرت أجزاؤه أو أنها أحجار بناء النظام الشمسى أى عبارة عن غبار كونى اندمج وتلاحم بعضه ببعض، وأنها جزء من السحابة الترابية الهائلة التى تكاثفت منها الشمس والكواكب.

٢- مجموعة الكواكب الخارجية البعيدة عن الشمس، وتشمل المشترى وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو، وهى كبيرة الحجم ماعدا بلوتو، كما أنها كواكب باردة نتيجة بعدها عن الشمس لذا فإن غازاتها مثل غاز ثانى اكسيد الكربون والأزوت والميثان والهيدروچين والهليوم والأكسچين فى حالة متجمدة صلبة، وكثافة مادتها منخفضة محدودة.

(هـ) المشتري Jupiter: وهو أكبر كواكب المجموعة الشمسية على الاطلاق إذ يبلغ طول قطره ١١ مرة مثل قطر الأرض، وكتلته نحو ٣٠٠ مرة مثل كتلة الأرض، وكثافته ١,٣٣ أى حوالى ٢٥ ٪ بالنسبة لكثافة الأرض. إلا أنه كوكب سريع الدوران حول نفسه إذ يقل طول اليوم الكامل عليه عن ١٠ ساعات (٩ ساعة، ٥٥ دقيقة). ونظراً لدورانه السريع فقد استطال قطره الاستوائى. ويعتقد أن الغلاف الجوى المحيط به سميك وتسوده غازات النشادر والميثان وهى تكون سحباً سميكة حوله (شكل ١٣). كما يعتقد أنه أصلح بيئة من الأرض



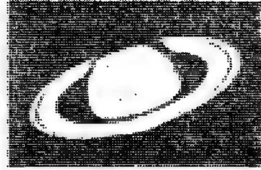
شكل رقم (١٣)

كوكب المشتري ويظهر علي وجهه أحزمة السحب السميكه، كما تظهر البقعة الحمراء الكبيرة في الجزء الأيسر العلوي

(مرصد جبل ويسلون)

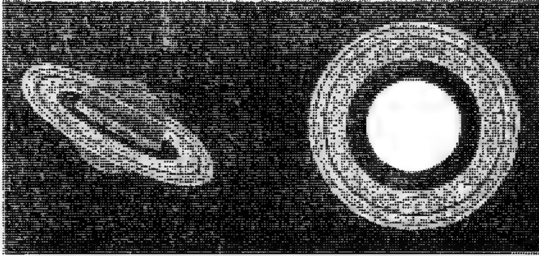
ومن أى كوكب آخر لبدايات الحياة. فالحياة التى بدأت على سطح الأرض منذ حوالى ٤,٥ مليار سنة قد ظهرت فى أغلب الظن فى جو تسوده غازات الهيدروچين والميثان والنوشادر مثل ما يسود الجو الحالى لكوكب المشترى. ويتبع المشترى ٢٩ قمراً.

(و) زحل Saturn، يشبه كوكب المشترى إلى حد بعيد، ويبلغ قطره ٩,٤١ مرة مثل قطر الأرض، ويحيط به غلاف غازى كثيف يتركب من الهيدروچين والميثان والهليوم ويمتص قدر كبير من الإشعاع الشمسي. ويتميز زحل بتلك الهالة التى تحيط به وتدور حوله (شكل ١٤) وهى على شكل أربع حلقات عظيمة غير بعيدة عنه. وربما تكون تلك الحلقات، من حطام المادة أو فتاتها إذ تسبح فى مجالها أعداد هائلة من الجسيمات الصغيرة. ويبلغ الإتساع الكلى للحلقات نحو ٦٠ ألف كيلو متراً، والحلقة ن الخارجيتان شديدتا اللمعان بينما الحلقة الثالثة الداخلية ضعيفة اللمعان. أما الحلقة الرابعة وهى أقرب الحلقات إلى الكوكب بل تكاد تصل إلى سطحه فهى باهتة جداً. ويعتقد العلماء بأن مكونات هذه الحلقات هى مواد كونية تشبه أسراب النيازك لم تسنح لها فرصة التلاحم لتكوين كوكب تابع له، أو يحتمل أنها كوكب اقترب من زحل وتحطم فى مجال جاذبيته. ولقد أماطت اللثام عن هذا الكوكب رحلات سفن الفضاء الأمريكية فويجر ١، فويجر ٢ (٨٠ – ١٩٨١) فقد كشفت الصور أن عدد الحلقات التى تحيط به يزيد عن ٦٢ حلقة وليس أربعة وأن عدداً من الحلقات يتداخل بعضه فى بعض دون سبب واضح، وأن تلك الحلقات ما هى إلا عقود من جبال الثلج المجدول بإتقان وتلتف حوله فى بهاء غريب. كما أن تلك الحلقات تدور حول الكوكب فى اتجاه معاكس لاتجاه حركة دورانه. ويتبع كوكب زحل ١٧ قمراً من بينها قمر واحد يعرف باسم تيتان Titan يبلغ طول قطره نحو ٤٨٠٠ كيلو متراً ويحيط به غلاف جوى على عكس ما هو معروف عن أقمار المجموعة الشمسية. ويدور بعض من تلك الأقمار حول الكوكب فى إتجاه معاكس لإتجاه حركة دورانه والبعض الآخر يدور فى نفس إتجاه حركة الكوكب وهو الإتجاه السائد لحركة الدوران الفلكية فى الكون.



شكل رقم (١٤)

(أ) كوكب زحل وحلقاته (مرصد جبل ويلسون)



شكل رقم (١٤)

(ب) رسم تخطيطي لكوكب زحل وحلقاته

(ز) أورانوس Uranus: ويبلغ قطره نحو ٥٠,٠٠٠ كيلو متراً وحجمه ٦٤ مرة قدر حجم الأرض، وكثافة مادته ١,٢٧، ويدور حول نفسه بسرعة تبلغ ضعف سرعة دوران الأرض تقريباً، فهو يتم دورته فى أقل من ١١ ساعة، كما يتم دورته حول الشمس مرة كل ٨٢ سنة أرضية. ويختلف الكوكب عن بقية الكواكب الأخرى فى أن محور دورانه حول نفسه يميل على مستوى دورانه حول الشمس بمقدار ٨° فقط، ويترتب على ذلك أن يصبح أحد قطبيه مواجهاً

للشمس أثناء نصف دورته حولها أى خلال ٤٢ سنة أرضية، بينما يبقى لاقطب الآخر فى ظلام دامس خلال نفس المدة. ولأورانوس غلاف غازى يتكون من النوشادر والميثان والهيدروچين والهليوم وثانى أكسيد الكبريت والأوزون. وتبلغ درجة حرارة هذا الغلاف نحو ٢٠٠°م تحت الصفر، ويغطيه طبقة من الجليد يبلغ سمكها نحو ٤٨٠٠ كيلو متراً. ولأورانوس خمسة عشر قمراً تدور فى اتجاه معاكس لدوران الكوكب حول الشمس. وقد اكتشف منظار هابل الفضائى أن لأورانوس حلقات تشبه حلقات زحل وتدور حوله على مسافة أبعد ويبلغ عددها ١٤ حلقة.

(ح) نبتون **Neptun**: ويبلغ طول قطره نحو ٤٣٠٠٠ كيلو متراً، وحجمه ١٧ مرة مثل حجم الأرض، وكثافة مادته ٢٥ ٪ من كثافة الأرض. ويحيط بالكوكب غلاف غازى يتألف من النوشادر والميثان والهيدروچين والهليوم، ولأنه بعيد عن الشمس لذا فإنه يتلقى من الإشعاع الشمسى ٩ ٪ مما تستقبله الأرض، وعلى هذا فإن درجة الحرارة على سطحه منخفضة جداً وتبلغ ٢٣٠°م تحت الصفر، ويغطيه طبقة من الجليد يبلغ سمكها نحو ٢٩٠٠ كيلو متراً. ويدور حول نبتون قمران: ترايتون ونيريد ثم ستة أقمار صغيرة N_1، N_2، ....، N_6.

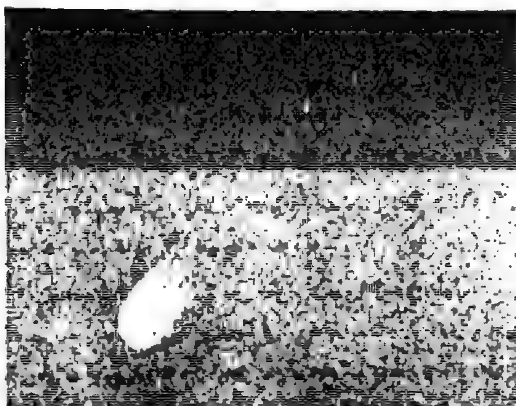
(ط) بلوتو **Pluto**: وهو أبعد الكواكب عن الشمس حيث يقع عند الحدود التى يلتقى عندها فضاء المجموعة الشمسية بالفضاء الكونى. وهو أقرب فى حجمه إلى مجموعة الكواكب الصغيرة، إذ يبلغ طول قطره ٤٦ ٪ من طول قطر الأرض وكتلته ١٨ ٪ من كتلة الأرض، وحجمه لا يزيد عن حجم المريخ، ودرجة حرارته تعادل ٢٣٠°م تحت الصفر. ويدور الكوكب حول نفسه فى فترة تبلغ نحو ٦,٤ يوماً أرضياً، كما يدور حول الشمس دورة كاملة فى ٢٤٨ سنة أرضية. وقد اكتشف منظار هابل الفضائى أن لهذا الكوكب قمر واحد أطلق عليه اسم شارون. ويلاحظ أن فلك بلوتو لايوازى فلك نبتون بل أنه يتقاطع معه مما يجعله فى بعض الأوقات أقرب إلى الشمس من بنتون. وقد استطاع منظار هابل

الفضائي عام ١٩٩٩ رصد وتصوير بلوتو وهو أقرب إلى الشمس وأصبح فى ذلك الوقت هو الكوكب الثامن ونبتون هو الكوكب التاسع فى النظام الشمسى.

ثالثاً: المذنبات Comets والنيازك Meteorites والشهب Meteors:

يحتوى النظام الشمسى إلى جانب الشمسى والكواكب وتوابعها على عدد هائل من أجرام سماوية تعرف بالمذنبات والشهب والنيازك لا يمكن رؤيتها إلا إذا دخلت منطقة جذب الأرض واندفعت نحوها.

١- المذنبات: وهى عبارة عن أجرام سماوية تسبح حول الشمس بسرعة هائلة فى مدارات بيضاوية مستطيلة أو مستطيلة جداً، ولا تقترب من الشمس إلا خلال فترات قصيرة جداً من زمن دورانها حولها والذى يقدر بعشرات السنين. وعندما يقترب المذنب من الشمس يضيء بشدة ويلمع تاركاً وراءه لسان أو ذيل من الغازات المتوهجة فى الفضاء (شكل ١٥). وتتركب المذنبات من مجموعة من الغازات أهمها أول أكسيد الكربون والكيانوچين Cyanogen وجسيمات دقيقة من الغبار الكونى، كما تتركب رؤوسها من مجمعات حصوية وحجرية فى شكل عقد متصلبة. ويتباين حجم المذنبات تبايناً كبيراً فقد يصل حجم رأس المذنب حجم أحد الكويكبات ويمتد ذيله عبر ملايين الكيلو مترات. ومهما يكن من أمر فإن العلم لم يكشف عن سر تلك المذنبات إلى اليوم. ومن أشهر المذنبات مذنب هالى Halley's Comet الذى تستغرق دورته حول الشمس ٧٦ سنة والذى شاهده سكان الأرض عام ١٩١٠ وعام ١٩٨٦. وقد تنجذب بعض المذنبات صوب نجم الشمس فتنفجر وتشتت أجزاؤها عند دخولها الحقول الكهرومغناطيسية الشمسية ولا تستطيع الخروج منها. كما قد تنجذب نحو الكواكب الكبيرة خاصة المشترى فتندفع صوبه وترتطم به. وينتج عن هذا الارتطام انفجارات رهيبة ويؤدى إلى تكوين سحب سوداء هائلة من الغازات والأتربة الساخنة. وقد استطاع منظار هابل الفضائى تصوير المذنب شوماخر عندما وقع فى جاذبية المشترى وتحطم إلى ١٤ جزء سقطت على سطح الكوكب بالقرب من قطبه الجنوبى.





شكل رقم (١٥)

الصورة العليا: مذنب بروكس (مرصد حلوان).

الصورة السفلي: المذنب 1911 وتظهر النجوم علي شكل خطوط بيضاء قصيرة بسبب ترك التلسكوب مفتوحاً لتتبع حركة وتصدير المذنب (مرصد برنارد).

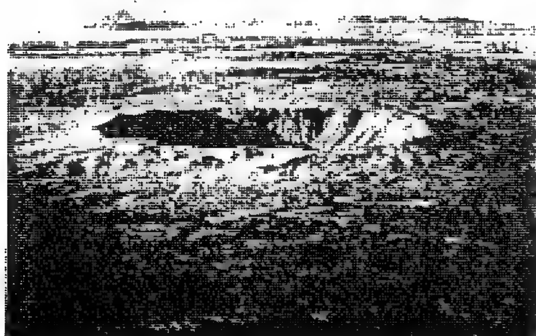
٢- النيازك: عبارة عن حطام أجسام كونية متحللة تشبه في تركيبها تركيب الكواكب من نوع الأرض، وقد تصل إلى سطح الأرض بسبب جرمها الكبير نسبياً (شكل ١٦). ومن أشهر النيازك التي وصلت وانفجرت قرب سطح الأرض نيزك سيبريا الذى سقط عام ١٩٠٨ وهز سطح الأرض كما سبب تلفاً عظيماً في دائرة قطرها حوالي ٤٠ كيلو متراً. وهناك أيضاً نيزك الأريزونا بأمريكا الشمالية وقد أحدث حفرة عميقة في سطح الأرض زاد قطرها على ١٦٠٠ متراً كما زاد عمقها على ٢٠٠ متراً (شكل ١٧). وقد أدى ارتطام ذلك النيزك بسطح الأرض إلى انفجاره وتطاير أجزائه في صورة مفتتات تناثرت حول الهوة التي أحدثها بحيث غطت مساحة شاسعة حولها. وقد تعرضت الأراضي المصرية لتساقط النيازك مثل نيزك إسنا وكان وزنه حوالي ٢٣ كيلو جراماً، ونيزك النخلة مركز أبو حمص، ونيزك دنشال مركز إيتاي البارود اللذان سقطا عام ١٩١١.



شكل رقم (١٦)

أحد النيازك الضخمة (نيزك هوبا Huba) يصل وزنه إلي نحو ٦٠ طناً





شكل رقم (١٧)

الصورة العليا صورة جوية للحفرة التي صنعها نيزك أريزونا عند ارتطامه بالأرض بالقرب من كانون دياباو Canon Diablo

الصوره السفلي، صورة فتوغرافية (بعدسة واسعة) للحفره التي صنعها نيزك أريزونا، يصل قطر الحفره إلى ٣/٤ ميل وعمقها إلى ٦٠٠ قدم.

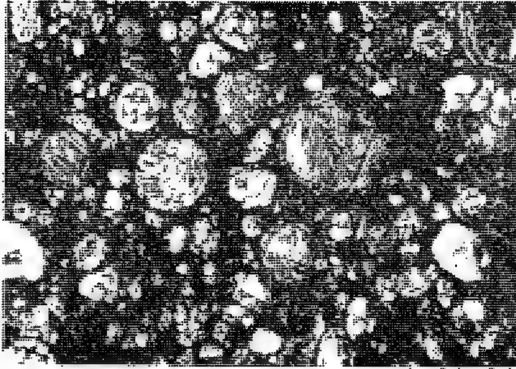
وتنقسم النيازك إلى ثلاثة أنواع هى: النيازك الحديدية التى تتكون من ٩٨ ٪ من الحديد والنيكل (شكل ١٨)، والنيازك الحديدية الحجرية وتتكون من ٥٠ ٪ من الحديد والنيكل، ٥٠ ٪ من صخر الأوليفين، والنيازك الحجرية والتى تتكون من صخرى الأوليفين والبيروكسين ويتناثر فيها حبيبات معدنية دقيقة لا يزيد قطرها عن ملليمتراً واحداً تعرف باسم الكندرول Chondrol . (شكل ١٩)، وعندما تزداد كمية تلك الحبيبات تعرف بنيازك الكندريت Chondrite. والنيازك الحجرية نادرة ومن أمثلتها الحجر الذى عثر فى جزيرة جرينلند ويزن نحو ٣٦,٥ طن. أما الكثير منها فلا يصل إلى سطح الأرض بسبب احتراقها فى الغلاف الجوى، ولكن ضوؤها يخطف الأبصار من شدة لمعانه وهى تتحرك بسرعة وتحدث دوياً قوياً عند انفجارها.



شكل رقم (١٨)

نيزك حديدي يصل وزنه إلي نحو ١٥ طنا

(متحف التاريخ الطبيعي الأمريكي)



شكل رقم (١٩)
صوره مكبره لحبيبيات الكندرول في نيزك حديدي،
يبلغ قطر الحبيبة الكبيرة مليمتراً واحداً.
(متحف التاريخ الطبيعي الأمريكي)

٣- الشهب: تختلف الشهب عن النيازك فى أنها أقل حجماً إذ يصل قطرها إلى بضعة أمتار. وتسبح الشهب فى الفضاء فى شكل أسراب تنطلق بسرعة فائقة قد تصل إلى ٧٢ كيلو متراً فى الثانية. ومن المعروف أن شهاباً واحداً يصل وزنه إلى جرام واحد عندما يتحرك بهذه السرعة فإنه يكتسب طاقة تعادل طلقات رصاص البنادق على الرغم من أن حجمه قد لا يتعدى حجم حبة الرمل. وتندفع آلاف الملايين من مثل هذه الشهب إلى جو الأرض الخارجى بفضل الجاذبية الأرضية ولكنها سرعان ما تحترق وتتبخر بسبب الحرارة الشديدة إثر احتكاكها بجو الأرض. وقد يصل بعض من موادها إلى سطح الأرض على شكل

غبار كوني. إلا أن الشهب تختفي على ارتفاع حوالي ١٠٠ كيلو متراً. وهكذا يحمي الغلاف الجوي الأرض من الشهب والنيازك. ويقدر كمية ما يسقط من غبار الشهب بين بضعة مئات الآلاف وبضعة ملايين من الأطنان، فقد عثر على غبار الشهب في كل أنحاء سطح الأرض. ويعتقد علماء الطبيعة الجوية أن لغبار الشهب تأثير على إثارة السحب وعمليات التساقط بوجه عام، إذ أنها تشكل ما يعرف بنويات التكاثف التي تتجمع عليها جزيئات بخار الماء العالق في الجو، ومن ثم تتكون قطيرات من الماء أو بللورات من الثلج داخل السحب المختلطة.

ويبين الجدول التالي الخصائص العامة لأفراد النظام الشمسي بإعتبار أن القيم الخاصة بكوكب الأرض هي وحدة القياس :

جدول رقم (١)

الخصائص العامة لأفراد النظام الشمسي(*) القيم الخاصة بكوكب الأرض هي وحدة القياس لباقي أفراد النظام

الخصائص	عطارد	الزهرة	الأرض	المريخ	المشتري	زحل	أورانوس	نبتون	بلوتو	الشمس	القمر
القطر القطبي	٠,٣٨	٠,٩٥	١	٠,٥٣	١١,١٢	٩,٤١	٣,٩٢	٣,٣٨	٠,٥٠	١٠٩,٨٩	٠,٢٧
الكتلة	٠,٠٤	٠,٨٣	١	٠,١١	٣١٨,٤٠	٩٥,٢٠	١٤,٦٠	١٧,٣٠	٠,١٠	٩٣٣٠٠٠	٠,٠١٢
الحجم	٠,٠٦	٠,٨٨	١	٠,١٥	١٣١٢	٧٦٣	٥٩	٧٢	٠,٠٩	١,٣ مليون	٠,٠٢
الكثافة	٥,٥٠	٥,٢٧	٥,٥٢	٣,٩٥	١,٣٣	٠,٦٩	١,٢٧	١,٦٠	٠,٦٠	٠,٢٥	٠,٦٧
الجاذبية عند الاستواء	٠,٢٦	٠,٩٠	١	٠,٣٨	٢,٦٦	١,١٤	٠,٩٦	١,٠٠	–	٢٧,٨٩	٠,١٦
عدد الأقمار	–	–	١	٢	٢٩	١٧	١٥	٢+٦ =٨	١	–	–
مدة الدوران حول المحور	٥٩,٤	٢٤٤	١ يوم	١,٠٣	٠,٤١٣	٠,٤٣٦	٠,٤٤٩	٠,٦٥٥	٦,٣٩	٢٤,٦٥	٢٧,٣٢
مدة الدوران حول الشمس	٠,٢٤	٠,٦٢	١ سنة	١,٨٨١	١١,٨٦٢	٢٩,٤٥٨	٨٤,٠١٥	١٦٤,٧٨٨	٢٤٨,٤	–	٢٧,٣٢ يوم
متوسط سرعة الدوران حول الشمس	١,٦١	١,١٧٤	١	٠,٨١	٠,٤٤	٠,٣٢	٠,٢٣	٠,١٨	٠,١٦	–	–
متوسط البعد عن الشمس	٠,٣٨٧	٠,٧٢٣	١	١,٥٢٤	٥,٢٠٣	٩,٥٤٠	١٩,٢٠٠	٣٠,٠٧٠	٣٩,٤٧٠	–	–
زاوية ميل مدار الكوكب على مستوى دائرة البروج.	٧° ..َ ١٤ً	٣° ٢٣َ ٣٩ً	–	١° ٥١َ ٠٠ً	١° ١٨َ ٢١ً	٢° ٢٩َ ٢٥ً	٠٠° ٤٦َ ٢٣ً	١° ٤٦َ ٢٨ً	١٧° ٨َ ٣٤ً	–	٥° ٩َ ٠٠ً

القطر القطبي = ١٢٧١٤ كيلو متراً.

كتلة الأرض = ٥ × ١٠^١٨ طن = ٥٩٧٥ تريليون طن.

حجم الأرض = ٧٨٠٠٠٠ ٣١٩ ١٠٨٣ كيلو متراً مكعباً.

مقدار تسارع جاذبية الأرض عند الاستواء = ٩,٨ سم/ ث٢.

اليوم الأرضي = ٤,٠٩ث ٥٦ ق ٢٣ س.

السنة الأرضية = ٤٥,٦٨ ث ٤٨ ق ٠٥ س ٣٦٥ يوم.

متوسط سرعة دوران الأرض حول الشمس = ٢٩,٨ كم/ الثانية.

متوسط بعد الأرض عن الشمس = ١٥٠ مليون كيلو متراً (= وحدة فلكية).

نسبة كتلة الأرض: كتلة الشمس = ١ : ٩٣٢٩٥٨ .

نسبة كتلة القمر: كتلة الأرض = ١ : ٨١,٣ .

مدة دوران القمر حول الأرض = ٢٩,٥٣ يوماً.

متوسط بعد القمر عن الأرض = ٣٨٤٠٠٠ كيلو متراً.

(*) Sidgwick, J. B., "Introducing Astronomy". Faber & Faber Linited, London, 1973, pp. 120 - 121.

الفصل الثاني

الأرض: نشأتها - تركيبها - مادتها - درجة حرارتها مغناطيسيتها - توازن قشرتها

- أولاً: نشأة الأرض.
- ثانياً: تركيب الأرض.
- ثالثاً: مادة الأرض.
- رابعاً: حرارة الأرض.
- خامساً: مغناطيسية الأرض.
- سادساً: توازن القشرة الأرضية.

الفصل الثاني

أولاً: نشأة الأرض

تعد مشكلة نشأة المجموعة الشمسية من الموضوعات الهامة التى شغلت أذهان العلماء منذ وقت بعيد. وقد صيغت العديد من الفرضيات (النظريات) لتفسير نشأة المجموعة الشمسية.

١- نظرية كانط Kant ١٧٥٥م:

اعتقد كانط أن الكون كان يزخر بجزيئات أولية على شكل جسيمات صغيرة صلبة معتمة تختلف فى حجمها وكثافتها. ثم بدأت تلك الأجسام تتجاذب إلى بعضها البعض تحت تأثير قوة الجذب، فتحرك الصغير منها نحو الكبير ويلتحم معه فتكونت أجسام أكبر. وأخذت تلك الأجسام الأكبر تجذب إلى مجالها الأجسام الأصغر فتكونت أجسام أكبر. وقد نشأ عن ذلك تكوّن وظهور عقد ضخمة من المواد الكونية كمراكز تجميع يغلفها ويحيط بها سحب كثيفة من المادة الكونية من غازات وغبار وأتربة. وتمثل الشمس أحد هذه المراكز التى استطاعت تجميع سحابة من الغاز والغبار الكونى بلغ امتدادها امتداد المجموعة الشمسية أى مدار كوكب نبتون (لم يكن كوكب بلوتو قد اكتشف بعد). وقد ظلت تلك السحابة ونواتها المركزية زمناً طويلاً من غير أن تأخذ شكلاً معيناً. وفى نفس الوقت وتحت تأثير الجاذبية المؤثرة داخلها بدأت السحابة الكونية المتجمعة فى الحركة الدورانية السريعة حول النواة، وبدأت تنفصل عنها عند أطرافها الخارجية حلقات غازية نتيجة لزيادة قوة الطرد المركزية عن قوة الجاذبية. وهكذا أخذت السحابة شكل القرص المفرطح الدوّار يتوسطه مركز سميك منكمش يتركز فيه ٩٠ ٪ من كتلة السحابة الغازية الغبارية الأصلية، ويحيط به حلقات متحدة المركز تحتوى على نسبة الـ ١٠ ٪ المتبقية. وبمضى الوقت وصل هذا المركز إلى كثافة حرجة بدأت عندها التفاعلات النووية تجرى فى داخلها وتولد حرارة شديدة وبدأ فى التوهج والإضاءة وهكذا ظهرت الشمس. وقد تكوّن من

غبار وغازات كل حلقة كوكب له صفات تتوقف على مقدار بعد الحلقة عن الكتلة المركزية من ناحية وعلى التركيب الدقيق للمادة الكونية بها. وقد أصبحت الكواكب كبيرة الحجم هى الأخرى مراكز تجميع للمادة الكونية حولها والتى بدأت فى الحركة الدورانية ومنها تكونت التوابع أى الأقمار.

وقد استطاع الاشعاع الشمسى القوى اجتياح واكتساح أقرب الكواكب إليها، فارتفعت حرارة تلك الكواكب إلى درجة أدت إلى نشاط عملية البخر لمادتها. وقد أدى كل من الإشعاع الشمسى والتبخير إلى تبخير كتلة تلك الكواكب القريبة، ولم يتبق سوى الكواكب الداخلية التى بين الشمس ونطاق الكويكبات.

٢- نظرية لابلاس Laplace ١٧٩٦م:

تعرف هذه النظرية بالنظرية السديمية، وترى أن المادة التى تتكون منها الشمس والكواكب وتوابعها كانت عبارة عن جسم غازى ملتهب (سديم)، وكان هذا السديم يدور حول نفسه (بدون سبب معروف)، وبسبب تجاذب مكوناته بدأ السديم يتكاثف عند مركزه، وقد أدى ذلك إلى تكوّن الشمس. وفى البداية كانت الشمس ما تزال مغلقة بالسديم الذى كان يدور حولها. وكانت أجزاء السديم القريبة من الشمس تتعرض لانضغاط أكبر وتدور فى فلك أقصر من أفلاك الأجزاء الأخرى البعيدة عنها. وينشأ عن البعد عن المركز ضعف فى قوة الجذب بينما تشتد قوة الطرد المركزية الناجمة عن دوران السديم حول مركزة. وقد أخذت حرارة السديم فى الانخفاض تدريجياً بفعل الاشعاع الذاتى إلى الفضاء، ومن ثم أخذ يبرد بالتدريج وينكمش. وقد أدى هذا الانكماش إلى ازدياد فى سرعة دورانه وإلى تسطحه وتفلطحه وانبعاجه عند استوائه. وقد بلغت هذه السرعة حداً تفوقت فيه قوة الطرد المركزية على قوة الجذب فتحللت أجزاء السديم عند استوائه وانفصلت عنه على شكل حلقة تحيط به عند المنطقة الاستوائية منه، وأخذت تلك الحلقة تدور فى نفس الإتجاه الذى يدور فيه السديم. ثم حدث انكماش جديد فى جسم السديم نتيجة فقدانه للحرارة بالإشعاع فازدادت سرعته وانفصلت منه حلقة ثانية عند المنطقة الاستوائية وتدور فى نفس اتجاه دورانه. وتبع ذلك عدة انكماشات كانت سرعة السديم تزداد فى كل منها

وينفصل منه حلقة بعد حلقة حتى بلغ عدد الحلقات التى انفصلت ثمانية، وهذا هو عدد الكواكب السيارة التى تم اكتشافها فى ذلك الوقت، حيث لم يكن كوكب بلوتو قد اكتشف بعد. ويسبب عدم تساوى وانتظام التبريد تحطمت تلك الحلقات، ثم نتيجة لقوى الجذب المتبادل بين الأجزاء المحطمة تكونت الكواكب السيارة حول الشمس.

وتشبه نظرية لابلاس نظرية كانط فى خطوطها وأفكارها العامة ولكنها أسهمت فى إعطاء التفسير الرياضى لنظرية كانط، الأمر الذى أدى إلى اقترانهما معاً وعرفتا فيما بعد بنظرية كانط/ لابلاس. وتتفق هذه النظرية مع مانعرفه عن المجموعة الشمسية حيث تقع مدارات الكواكب كلها فى حدود بضع درجات بالنسبة لمستوى دائرة الاستواء الشمسية أى فى مستوى دائرة البروج. كما تدور كل الكواكب حول الشمس فى إتجاه واحد وفى إتجاه دوران الشمس حول محورها. وكذلك يدور كل كوكب حول محوره فى إتجاه دورانه حول الشمس. وتخضع أبعاد الكواكب عن الشمس لنظام محدد. ويقدر أن مجموع كمية حركة دوران الكواكب يبلغ ٤٩ مرة قدر كمية حركة دوران الشمس.

وقد أدى التعمق فى دراسة الكون والمجموعة الشمسية إلى ظهور حقائق تناقض نظرية كانط/ لابلاس، من أبرزها توزيع لحظة وكمية الحركة بين الكواكب والشمس والتى تخضع للعلاقة بين كتلة الكواكب من ناحية وكتلة الشمس من ناحية أخرى، وللمسافة التى تفصل بين الكواكب بعضها عن بعض من ناحية وبينها وبين الشمس من ناحية أخرى. وبما أن الشمس والكواكب من أصل واحد وأن كتلة الشمس تعادل ٩٠ ٪ من كتلة النظام الشمس، لذا فإنها يجب أن تمتلك الجزء الأكبر من لحظة وكمية الحركة. ولكن يلاحظ أن الحركة الدورانية للشمس بطيئة للغاية، وأن نصيبها من لحظة وكمية الحركة لا يتجاوز ٢ ٪ بينما يبلغ نصيب الكواكب ٩٨ ٪ تستأثر الكواكب العملاقة (المشترى، زحل) بالنسبة الأكبر منها. وهكذا بدت نظرية كانط/ لابلاس عاجزة عن تفسير هذا التناقض.

٣- نظرية تشمبرلين/ مولتون Chamberlin & Moulton ١٩٠٤م:

وتعرف بنظرية الكويكبات Planetesimal Theory، وهي على عكس النظريات السابقة لا تعتبر ميلاد الكواكب ظاهرة في التطور العام لكتلة أصلية أصبحت الشمس نواتها المركزية فيما بعد. وترى النظرية أن تكوين الكواكب قد تم عن طريق التأثير المتبادل بين نجم الشمس ونجم آخر أضخم منها حجماً أصطلح على تسميته بالنجم الزائر. فقد حدث أن اقترب هذا النجم من الشمس وجذبها إليه فحدث فيها تمدد عند جانبيها المقابل والمظاهر للنجم، كما حدث انفجار في الحواف الخارجية لجسم الشمس نتيجة للضغط الشديد الواقع على أجزائها الداخلية. ونجم عن هذا وذاك أن انفصل عن جسم الشمس أجزاء أو ألسنة من المادة الشمسية من المنطقتين اللتين أصابهما المد على دفعات متتالية. وفيما بعد تكاثفت الغازات والمادة الشمسية وتكونت نويات كويكبية، ثم أخذت تلك الكويكبات الأولية تتلاحم ويجمع الكبير منها الأجسام الصغيرة المبعثرة فتكونت الكويكبات الصغيرة التي أخذت تنمو إلى أن وصلت إلى حجم الكواكب التسعة المعروفة التي تتكون منها المجموعة الشمسية. وهذه النظرية لا ترى أنه من الضروري افتراض أن الأرض كانت في وقت ما في حالة سائلة أو منصهرة، فالأرض قد نمت وكبرت عن طريق إضافة مواد الكويكبات إليها وكان نموها سريعاً في البداية، ثم أخذت سرعة النمو تقل بالتدريج شأنها في ذلك شأن باقي كواكب المجموعة الشمسية. ولقد ارتفعت حرارتها الباطنية نتيجة عمليات التكاثف في كتلتها أثناء فترة نموها.

٤- نظرية جيفريز وجينز Jeffreys & Jeans ١٩٢٧م:

وتعرف هذه النظرية باسم نظرية المد الغازي Gaseous Tidal Hypothesis، وتقوم على الاعتراف بالنجم الزائر والتأثير المتبادل بينه وبين الشمس. كما تعترف بقوى الجذب على أنها العامل المؤثر الوحيد وتنكر عملية الانفجار التي تفترضها نظرية الكويكبات. وتقول هذه النظرية أنه لو اقترب نجم من الشمس أعظم منها جرماً فإن حواف الشمس تتحطم نتيجة لقوى المد العنيفة والتي تقذف بالأجزاء المحطمة بعيداً عن الشمس. وتحتوي المقذوفات الملتهبة

من المواد ما يكفى لأن تجعلها تتماسك فى شكل عمود غازى ضخم لا تتناثر أجزاؤه فى الفضاء يمتد فى الاتجاه الذى مر فيه النجم الزائر. وقد بلغ طول هذا العمود المسافة بين الشمس وكوكب بلوتو. وقد كان هذا العمود الغازى الذى انفصل عن الشمس أكثر سمكاً وضخامة فى الوسط منه عند طرفيه. كما تكونت خلاله تحت تأثير الجاذبية عقد متكاثفة. وكانت هذه العقد أو الكتل أكبر فى الوسط منها عند الأطراف، ومنها نشأت وتكونت الكواكب الأكبر حجماً – المشترى، زحل – أما الكواكب الصغيرة فقد تكونت عند طرفى العمود أو بالقرب منها. وتفترض النظرية أيضاً أن الأقمار قد انفصلت عن الكواكب تحت تأثير جاذبية الشمس أو ربما تحت تأثير النجم الزائر نفسه.

وتفترض النظرية أن الكتلة الغازية التى تكون منها كوكب الأرض قد بردت إلى أن وصلت إلى حالة سائلة تماماً ثم تصلبت بعد ذلك عن طريق فقدان الحرارة بالإشعاع. وعلى هذا النحو أمكن لمادة الأرض أثناء عملية التبريد أن تأخذ ترتيباً على شكل نطاقات أو أغلفة حسب كثافة المواد المكونة لكل غلاف منها.

٥- نظرية ليتلتون - هويل Lyttleton - Hoyle ١٩٣٦ - ١٩٤٦م :

كانت نظرية المد الغازى التى افترضها جينز فى الأصل وأدخل عليها جيفريز بعد ذلك التعديل والتحوير مقبولة فى مجملها لتفسير نشأة المجموعة الشمسية وخصائصها العامة. وقد ظهر بعد ذلك كثير من الصعوبات، كما أثير فى وجهها كثير من الاعتراضات شككت فى صحتها. ومن بين الصعوبات الرئيسية التى واجهتها، أن كتلة الكواكب وتوابعها لا تمثل إلا جزءاً يسيراً من الكتلة الكلية للنظام الشمسى (تبلغ كتلة الشمس ٩٠٪ من كتلة النظام الشمسى)، ومع ذلك فهى تبعد عن الشمس بعداً عظيماً. كما أن حركة الشمس الدورانية حول محورها بطيئة جداً بالمقارنة مع الحركة الدورانية للكواكب (يبلغ نصيب الشمس من كمية الحركة بالنظام الشمسى ٢٪ بينما يبلغ نصيب الكواكب ٩٨٪)، مما يشير إلى تناقض فى العلاقة بين كتلة الشمس وكواكبها وبين كمية الحركة للشمس وكواكبها أيضاً. وعند إخضاع النظام الشمسى (كتلة ومسافة) لمقياس

نسبى، وتمثل الشمس بكرة فى حجم البرتقالة فإن كوكب بلوتو على سبيل المثال يكون فى حجم حبيبة حصباء صغيرة وتقع على بعد ١٢٥ متراً. لذا فإن المسافات الشاسعة التى تفصل بين الشمس والكواكب لا تعزز أية نظرية تفترض انفصال مادة الكواكب من جسم الشمس، إذ لو أن الكواكب قد انفصلت عن الشمس لكانت تبعد عنها بمسافات صغيرة محدودة.

ويقول ليتلتون عام ١٩٣٦ أنه لو افترضنا أن الشمس لم تكن منفردة فى الفضاء الكونى، بل كان يصاحبها نجم آخر (تعد ظاهرة الازدواج النجمى شائعة نسبياً فى الكون) توأم لها يبلغ قطرة نحو ١,٤٥٠,٠٠٠ كيلو متراً ويقع بعيداً عنها عند المسافة بين زحل وأورانوس، ويدوران حول بعضهما البعض، واقترب منهما نجم آخر ضخم (نجم زائر)، وهذا يعنى أنه كان يوجد ثلاثة أجرام هى: الشمس والنجم المصاحب لها والنجم الزائر. وإذا كان النجم المصاحب للشمس يبعد عنها - حسب المقياس المصغر السابق - بمسافة ١٠٠ متراً، فإن تأثير النجم الزائر فى هذا النجم قد ينشأ عنه تكوين الكواكب على أبعاد من الشمس تناسب أبعادها الحالية.

وقد رجح هويل عام ١٩٤٦ فرضية ليتلتون وأطلق على النجم المصاحب للشمس اسم سوبر نوفا Supernova، وأوضح أن هذا النجم كان يفقد كميات هائلة من حرارته بالإشعاع ومن ثم أخذ يبرد ويتقلص وينكمش وتزداد سرعة دورانه حول نفسه مما أدى فى النهاية إلى انفجاره وساعده على ذلك مرور النجم الزائر. وقد كان الانفجار من الشدة بحيث أدى إلى تطاير الجزء الأكبر من نواته فى الفضاء بعيداً عن مجال جاذبية توأمه الشمس، بينما بقيت كمية من غازاته كانت كافية لتكوين قرص جذبته الشمس وأخذ يدور حولها على بعد ١٠٠ متراً بالمقياس النسبى، وفى هذا القرص تكاثفت ونشأت الكواكب المعروفة وتوابعها فيما بعد.

٦- نظرية أوتوشميت Otto Schmidt ١٩٤٤م :

يرى شميت أن كتلة نجم الشمس قد اقتنصت من الفضاء سحابة غازية غبارية أى سديم غازى، ثم تكاثفت مواد تلك السحابة مكونة الكواكب. ووضع

شميت نموذجاً لعملية التكاثف وتجمع الغبار والغزات ثم تطورها إلى مرحلة الكواكب. ويشير هذا النموذج إلى أن عملية التكاثف قد تكوّن منها أجسام صلبة (نيازك) فى مجال كتلة السديم وتحت تأثير قوى الجاذبية أتحدت تلك الأجسام ونشأ عن ذلك تكوين الكواكب المعروفة. وكانت تلك الكواكب تنمو بسرعة فى البداية حينما كانت تجذب إليها النيازك بكثرة فتتساقط عليها وتتحد بها. ولكن فى أثناء المليونى سنة الأخيرة قل ورود النيازك إلى الأرض بدرجة كبيرة.

٧- النظرية الحديثة:

نتيجة للتطور العلمى الكبير الذى شهدته علوم الفيزياء والرياضيات والفلك فى العقدين الأخيرين، تمكن العلماء من ملاحظة ومراقبة عمليات ولادة النجوم من السحب السديمية الغازية الغبارية الموجودة فى الفضاء الكونى بين النجوم. وقد تبين أنه بالإمكان تكوّن النجوم نتيجة للتأثيرات المتضادة بين الساحات المغناطيسية وضغط الغازات وعمليات الاشعاع الغازى المنطلقة من المناطق الحدودية الموجودة فى أذرع المجرات الحلزونية ومنها مجرة درب التبانة التى تنتمى إليها المجموعة الشمسية. وقد يكون انفجار حديث لنجم حافزاً لإثارة الغازات فى السحب الموجودة بين النجوم مما يؤدى إلى انضغاطها وبدء تمركزها حول نوى تمركز رئيسية. ويشير إلى ذلك إحتواء النظام الشمسى على عناصر ثقيلة ونظائر مشعة قصيرة العمر يمكن أن تكون نتاج تفاعلات نووية عظيمة لا تحدث إلا عند انفجار نجوم كبيرة وتتحول بعد ذلك إلى نجوم أصغر حديثة جداً.

وترى النظرية أن نجم الشمس عندما وصل إلى حجم معين بدأ يظهر فى جوفها عمليات تفاعل نووى شديدة تحولت بسببها عناصر الهيدروچين إلى هليوم، ونتج عن ذلك فقدانها لجزء من مادتها وخروجه على شكل ريح شمسية عنيفة طوقتها على شكل سحابة غازية غبارية كثيفة تشبه الطوق أو الحلقات التى تحيط بكوكب زحل. وقد تعرضت تلك السحابة بمرور الزمن للتكاثف ثم تطورت تدريجياً إلى الكواكب المعروفة وتوابعها. وهكذا ترى النظرية أن السحابة الأولية التى كانت محيطة بالشمس والشمس نفسها كانتا تدوران بسرعة،

إلا أنه تحت تأثير القوى الكهرومغناطيسية الحركية أخذت سرعة الدوران فى التباطؤ، وتم نتيجة لذلك نقل وتوزيع لحظة وكمية الحركة فى النظام الشمسى بالشكل الذى عليه الآن.

ويمكن تلخيص تكون النظام الشمسى فى المراحل التالية :

١- تكونت الشمس والسحابة الكثيفة التى تدور حولها من سحابة غازية غبارية من تلك السحب التى تنتشر بين النجوم، وربما بسبب تأثير انفجار نجم قريب من الشمس، أو بسبب التفاعل النووى الشديد بالشمس نفسها وخروج جزء من المادة الشمسية على شكل ريح عنيفة.

٢- استمر تطور الشمس والسحابة المحيطة بها، واستمر كذلك نقل القوى الكهرومغناطيسية الحركية بواسطة العمليات الاليكترومغناطيسية أو عن طريق الحركات الزوبعية المضطربة بالشمس.

٣- تكاثفت السحابة على شكل حلقة حول الشمس وتكونت بها نويات كويكبية.

٤- تحولت النويات الكويكبية إلى كويكبات ثم إلى كواكب كبيرة.

٥- تكررت العمليات السابقة حول الكواكب وظهرت توابعها بنفس الطريقة.

وقد فقدت الكواكب الداخلية القريبة من الشمس العناصر الكيميائية الخفيفة لقربها من الشمس وتعرضها للريح الشمسية الساخنة، لذا فإنها تتكون أساساً من مواد ثقيلة حديدية وسليكاتية صخرية السمات. كما اختفى غلافها الجوى الأصلي وتكون مكانه غلافاً آخر يختلف عنه يحتوى على عناصر غازية أثقل مثل الأوكسيجين والنيتروچين بالإضافة إلى الغازات المتصاعدة أثناء الثورانات البركانية العنيفة وانطلاق المركبات والعناصر الغازية المختلفة من الماجما. أما الكواكب الخارجية الأبعد من الشمس وكذلك توابعها فقد احتفظت بغازاتها الخفيفة مثل الهيدروچين والميثان والأمونيا.

ثانياً: تركيب الأرض

تتفق معظم النظريات الخاصة بنشأة الأرض، أن الأرض قد مرت بطور غازى ثم طور سائل وأخيراً الحالة الصلبة، مما سمح بترتيب مواد الأرض طبقياً حسب كثافتها Density Layering وبذا أصبحت تتكون من قشرة خارجية وباطن تتضارب الآراء حول طبيعته. ودراسة باطن الأرض ليست لها أهمية مباشرة للجغرافى فهى لا تهمه فى حد ذاتها، ولكن تساعده فى تفهم كثير من الظاهرات التضاريسية على سطح الأرض.

وقد تمكن العلم الحديث من التغلغل بنجاح إلى باطن الأرض الذى لا يمكن رؤيته، وذلك بعد اختراع وتطوير الأجهزة التجريبية، واستخدام مناهج البحث فى الكيمياء الأرضية Geochemistry والطبيعة الأرضية Geophysics واكتشاف تراكيب وقوى لم تعرف من قبل، وقياس الموجات غير المنظورة التى تنتشر فى باطن الأرض على أعماق بعيدة وتسجيل اشعاعات منبعثة من بقايا مواد تكاد لا ترى لفرط ضآلتها، ومن ثم وضع صورة تخطيطية لتركيب الأرض.

وقد أسس المركز الدولى لتسجيل الزلازل باكسفورد عام ١٩٢٢، وهو يقوم بتحديد مركز ووقت حدوث وعمق الزلازل التى تصيب الأرض. ومن هذه الكمية من البيانات التى تجمع من أنحاء العالم أصبح واضحاً أن الأرض فى حركة دائمة. والزلزال ببساطة عبارة عن كسر فى صخور الأرض، والكسر لا يحدث إلا فى مادة صلبة. وهناك زلازل تحدث على أعماق قريبة من سطح الأرض، وزلازل أخرى تحدث على عمق كبير يصل أحياناً إلى ٧٠٠ كم. وتدل الزلازل التى تحدث على عمق كبير من سطح الأرض أن الأرض صلبة حتى عمق يصل إلى حوالى نصف المسافة من سطحها إلى مركزها. وعندما يحدث الكسر ينتج عنه اهتزازات وموجات تعرف بالموجات السيزمية Seimic Waves وهى تكشف عن طبيعة وتركيب المواد التى تسرى خلالها. فإذا كانت المواد التى تخترقها الموجات صلبة فإنها تتصرف بكيفية معينة، وإذا كانت سائلة تتصرف بكيفية أخرى، وإذا كانت ذات تركيب كيميائى ومعدنى معين وذات

كثافة معينة فإنها تتحرك بسرعة معينة، وإذا اختلف التركيب والكثافة اختلفت السرعة (جدول رقم ٢).

جدول رقم (٢)

سرعة الموجات الزلزالية P و S وكثافة بعض الصخور النارية الشائعة

(Gorshkov, G. & Takushova, A., 1977)

الصخر	سرعة الموجات P كم / ث	سرعة الموجات S كم / ث	الكثافة جم / سم٣
الجرانيت	٦,٠	٣,٤	٢,٧ - ٢,٥
السيانيت	٦,١	٣,٦	٢,٨ - ٢,٧
الدياباز	٧,٠	٣,٨	٣,٠ - ٢,٩
الجابرو	٧,٠	٣,٨	٣,٠
البيروكسينيت	٧,٩	٤,٦	٣,٢
الدونيت	٨,٠	٤,٥	٣,٣ - ٣,٢

وينبعث من مكان الكسر نوعان رئيسيان من الموجات الزلزالية تصل احداهما إلى سطح الأرض قبل الأخرى ولهذا سميت بالموجة الأولية Primary Wave أو الأساسية (P)، أما الأخرى فتسمى بالموجة الثانوية (S). وتسرى الموجات الأولية فى المستوى الذى تنتشر فيه الموجة أى أنها موجات ضاغطة طولية تدفع وتشد المادة الأرضية التى تسير خلالها، ويمكنها اختراق الجوامد والسوائل، ولكن تعظم سرعتها فى الأجسام الصلبة والمواد ذات الكثافة العالية. أما الموجات الثانوية فهى عمودية على مستوى الموجات الأولية، وهى ترفع وتخفض المادة الأرضية وتعمل على تشويهها، ولا تستطيع اختراق الوسط

السائل بل تقف عند سطحه، وتبلغ سرعتها $\frac{2}{3}$ سرعة الموجة الأولية. وهناك موجات ثالثة (L) وهى موجات سطحية أشبه بالتموجات المائية.

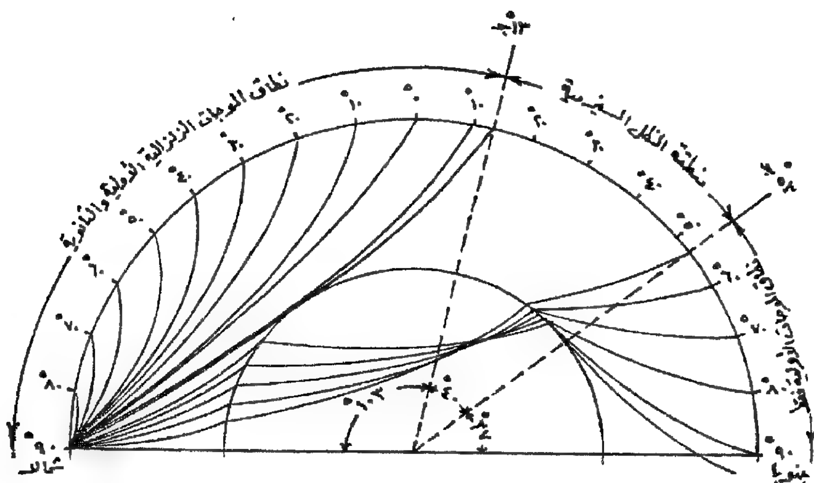
وقد بينت دراسة الموجات الزلزالية الأولية والثانوية أنها لا تسير فى طريق منتظم بل يعترضها عائق يجعلها تنحرف عن طريقها المرسوم. فإذا حدث زلزال عميق أسفل القطب الشمالى – على سبيل المثال – فإن الموجات الأولية والثانوية المنبعثة من مركز الزلزال تظهر على سطح الأرض وتسجلها المراصد فى نصف الأرض الشمالى كله وحتى دائرة عرض ١٣° جنوباً، ثم تختفى ولا تستطيع محطات الرصد والتسجيل إلا التقاط موجات أولية شاردة وضعيفة جداً. ولكن من عرض ٥٣° جنوباً وحتى القطب الجنوبى تظهر الموجات الأولية (P) قوية، ويمكن أن تسجلها المراصد بوضوح وتختفى تماماً الموجات الثانوية (S). وتسمى المنطقة الواقعة بين درجتى عرض ١٣°، ٥٣° جنوباً بمنطقة الظل السيزمية Seismic Shodaow (شكل ٢٠). ولكل زلزال منطقة الظل الخاصة به اينما كان موقعه أسفل سطح الأرض. ومن دراسة الموجات الزلزالية أمكن معرفة التركيب الداخلى للأرض.

التركيب الداخلي للأرض:

أولاً: القشرة Crust:

يتكون سطح الأرض من صخور رسوبية بحرية وقارية النشأة، يختلف سمكها من مكان لآخر بمتوسط قدره ١٥٠٠م وتبلغ سرعة الموجات الزلزالية بها ٣ كم/ث. وتوجد بعض الأماكن التى تتعرى فيها من هذه الصخور تدريجياً حتى تتلاشى وتبرز على السطح صخور سيليكية Silecous (وتسمى أحياناً فلسية Felsic) ذات تركيب كيميائى يشبه تركيب الجرانيت، لذا فتوصف عادة بالصخور الجرانيتية.

وتصل سرعة الموجات الزلزالية الأولية (P) فى تلك القشرة الجرانيتية إلى ٥,٥ – ٦,٠ كم/ث. ويختلف سمك تلك القشرة من مكان إلى آخر وأحياناً تختفى، إذ تشير الجسات فى قاع المحيط الهادى إلى عدم وجودها، كما تشير



شكل رقم (٢٠ آ)

منطقة الظل السيزمية لنواة الأرض



شكل رقم (٢٠ ب)

منطقة الظل السيزمية لزلزال حدث في الجزر اليابانية

إلى وجود سمك رقيق منها وأحياناً لا يوجد أسفل قاع المحيطين الأطلسي والهندى. ويبلغ سمك طبقة الجرانيت أسفل السهول القارية حوالى ١٠ كم، وأسفل السلاسل الجبلية الألبية الحديثة حوالى ٥٠ كم. ثم تقفز سرعة الموجات الأولية أسفل قاعدة الطبقة الجرانيتية إلى ٦,٥ كم/ث، وتشير إلى وجود طبقة من صخور مافية Mafic من البازلت والجابرو يبلغ سمكها أسفل السهول والأرصفة القارية الحديثة حوالى ٣٠ كم، وأسفل السلاسل الجبلية الحديثة إلى ١٠ – ١٥ كم، بينما يوجد سمك رقيق منها أسفل قيعان المحيطات ماعدا قاع المحيط الهادى إذ تختفي كلية. ويسمى الحد الفاصل بين الطبقتين الجرانيتية والمافية بحد كونراد نسبة إلى العالم الألمانى الذى قام بدراسات تفصيلية له.

وتشكل طبقتي الجرانيت والبازلت الجابروى معاً القشرة الأرضية Earth's Crust. ويبلغ سمك تلك القشرة فى الأقاليم الجبلية ٦٠ كم فى المتوسط، وفى أقاليم السهول القارية ٣٥ كم في المتوسط، أما في قيعان المحيطات فلا يزيد سمكها في المتوسط عن ٥ كم. والقشرة الأرضية لا تغلف الأرض بصورة كاملة إذ تختفى فى المناطق سحيقة العمق من قيعان المحيطات، وقاع المحيط الهادى.

ثانياً: الوشاح Mantle:

ترتفع سرعة الموجات الأولية (P) إلى ٨ كم/ث أسفل قاعدة القشرة الأرضية وتشير إلى وجود صخور فوق مافية Ultramafic أغنى فى الحديد والمغنسيوم وأفقر في المعادن السيليكية من الصخور المافية. وتشكل هذه الصخور أول غلاف يغلف الأرض بصورة كاملة دون انقطاع حتى عمق ٢٩٠٠ كم.

والحد الفاصل بين القشرة الأرضية والوشاح محدد بدقة عالية، ويسمى هذا الفاصل السيزمى بحد موهو Moho Discontinuity وعنده تقفز سرعة الموجات الأولية (P) من ٥,٥ – ٦,٣ كم/ث عند قاعدة القشرة الأرضية إلى ٧,٩ كم/ث أسفل هذا الحد فى وسط آسيا ومن ٥,٨ كم/ث إلى ٧,٥ كم/ث عند الساحل

الأطلسي لأمريكا الشمالية. ويمكن بصفة عامة اعتبار السرعة ٦ كم/ث عند قاعدة القشرة الأرضية، والسرعة ٨ كم/ث أسفل حد موهو قيم متوسطة وقد اصطلح السيزميون على تعريف هذا الحد بحد انقطاع من الدرجة الأولى Surface of Discontinuity of the First Order.

وهناك انقطاعات ثانوية عند أعماق ٣٠٠، ٧٠٠، ١٢٠٠، ١٧٠٠، ٢٤٠٠ كم، ولكنها تختلف في طبيعتها عن انقطاع حد موهو. ويسمى السمك من قاعدة القشرة الأرضية إلى عمق ٣٠٠ كم بطبقة الاثينوسفير Asthenosphere(*)، وتصل درجة حرارتها إلى ١٤٠٠°م في المتوسط. ويبدو أن هذه الطبقة ليست متجانسة في صفاتها الطبيعية، إذ تبدو وكأنها تتكون من نطاقات ثانوية متتابعة يدل عليها اختلاف في سرعة الموجات الزلزالية. فبعد الزيادة في السرعة التي تسجلها الموجات الزلزالية بعد عبورها حد موهو، يوجد نطاق يقع بين عمق ١٥٠، ٢٠٠ كم من سطح الأرض تنخفض فيه فجأة سرعة الموجات الزلزالية وبصفة خاصة الموجات الثانوية (S)، ويعرف باسم «نطاق السرعة المنخفضة Low Velocity Zone» أو «طبقة الريوسفير Rheosphere»، وهذه الطبقة شبه منصهرة إذ تقترب درجة حرارة الصخور بها من نقطة الانصهار ولكن لا تنصهر. وتحتوي تلك الطبقة على كثير من مستودعات الماجما التي تغذي البراكين، كما تقع فيها بؤر الزلازل متوسطة العمق. أما عند عمق ٧٠٠ كم فإن سرعة الموجات الأولية تسجل قفزة طفيفة ترجع إلى ارتفاع كثافة الصخور إلى ٤,٥ جم/سم٣(**). وتتدرج سرعة الموجات الأولية تدرجاً طبيعياً مع تزايد

(*) تسمى أحياناً بطبقة جوتنبرج Gutenberg Layer وهو أول من وضع صورة مبدئية عن تركيب الأرض.

(**) يسمى السمك بين ٣٠٠، ٧٠٠ كم بطبقة جوليتسين Golitsyn Layer وهو عالم روسي وضع أسس علم الزلازل Seimology كما اخترع جهاز السيزموجراف Seismograph. وتتركز في هذه الطبقة بؤر الزلازل العميقة. وبالمقارنة بين التركيب الداخلي للذرة وما يحدث فيها نتيجة تعرضها لقوة ضغط شديدة وبين تركيب الأرض أمكن تفسير الظواهر التي تحدث في هذه الطبقة. فقد ثبت معملياً أنه عند حدوث قوة ضغط تبلغ ١٠٠ ألف ضغط جوى تتبعثر اليكترونات المدارات الخارجية للذرة وتختلط بالمدارات الداخلية. ولكن جميع

-/-

العمق والكثافة ولكن بدون قفزات حتى تصل إلى عمق ١٢٠٠ كم فتقفز إلى سرعة ١١,٧ كم/ث مما يشير إلى وجود انقطاع ثانوى آخر عند هذا العمق. ثم تتدرج السرعة إلى ١٣,٦ كم/ث حتى عمق ٢٩٠٠ كم مع تدرج الكثافة إلى ٦,٥ جم/سم٣، ولكن هناك قفزات محدودة فى السرعة وتغير فجائى محدود فى كثافة المواد عند أعماق ١٧٠٠، ٢٤٠٠ كم. وقد اتفق السيزميون على تعريف تلك الانقطاعات الثانوية بحدود انقطاع من الدرجة الثانية Surfaces of discontinuity of the Second Order.

وقد اختلف العلماء فى تسمية السمك من حد موهو إلى عمق ١٢٠٠ كم، إذ أطلق عليه جوتنبرج B. Gutenberg اسم «السيما Sima»، وسماه فيتشرت E. Wiechert «الغلاف الخارجى Outer Shell»، واقترح جولد شميدت V. Goldschmidt اسم «الغلاف الحجرى Stony Shell» أو «غلاف الاكلو چيت Eclogite Shell»، وسماه سيبرج A. Sieberg «نطاق الصخور النارية الثقيلة Zone of Heavy Igneous Rocks»، بينما سماه كل من واشنطون H. Washington وفيرسمان A. Fersman «الغلاف البيريدوتيتى Peridotitic Shell». ويشيع الآن مصطلح «الوشاح The Mantle» كمسمى للنطاق بين حد موهو وعمق ٢٩٠٠ كم.

ويتفق السيزميون الآن على تقسيم الوشاح إلى قسمين، وشاح علوى Upper Mantle ووشاح سفلى Lower Mantle والحد الفاصل بينهما هو العمق ٧٠٠ كم. وكذلك تقسيم الوشاح العلوى إلى قسمين: قسم علوى هو الاثينو سفير حتى عمق ٣٠٠ كم، وقسم سفلى من عمق ٣٠٠ إلى عمق ٧٠٠ كم.

=/=

الأجهزة والظروف المعملية التى أمكن الحصول بها على هذا الضغط الشديد انفجرت وتحطمت. لهذا فإن العلماء يفترضون أن الهزات الأرضية التى تحدث فى طبقة جوليتسين مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بعملية اختلاط اليكترونات المدارات الخارجية للذرة بالمدارات الداخلية، مما يؤدى إلى حدوث انفجارات ذات قوة هائلة تسبب تدميراً شديداً على سطح الأرض.

ثالثاً: النـواة Core :

هناك حد انقطاع آخر من الدرجة الأولى مماثل لحد موهو أمكن تحديده بدقة عند عمق ٢٩٠٠ كم. وقد اصطلح على تسميته بحد جوتنبرج Gutenberg discontinuity وهو يعين الحدود الخارجية لنواة الأرض التى يبلغ نصف قطرها حوالى ٣٤٧٠ كم. ويعين هذا الحد الانخفاض الفجائى فى سرعة الموجات الأولية (P) من ١٣,٦ كم/ث إلى ٨/١ كم/ث واختفاء الموجات الثانوية (S). وقد لوحظ أن سرعة الموجات الأولية (P) أخذت فى التزايد مرة أخرى عند عمق ٥١٥٠ كم حتى بل بلغت ١١,٣ كم/ث عند مركز الأرض.

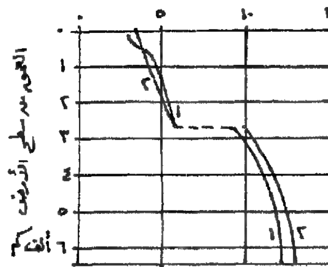
ويشير الموقف العلمى الحالى إلى أنه عند عبور هذا الحد الفاصل بين الوشاح والنواة يحدث تغير حاد فى كثافة الصخور إذ ترتفع من ٦,٥ إلى ١٠,٠ جم/سم٣. وتشير التجارب المعملية على نماذج تشبه الأرض أن الموجات الثانوية (S) تختفى عند مرورها فى السوائل. ويعنى هذا أن هناك تغيراً حاداً فى الحالة الفيزيائية للأرض أسفل هذا الحد، أى أن نواة الأرض أسفل الوشاح الصلب تتكون من مادة مائعة. وقد أثبتت تجارب مولودينسكى Molodensky أن صلابة الوشاح تفوق صلابة الصلب أربع مرات تبعاً للضغط المؤثر الواقع عليه والذى يبلغ حوالى ١٣٥٠ كيلو بار(*)، وأن هذه المادة المائعة تبعاً للضغط المؤثر الواقع عليها والذى يقدر بحوالى ٣٣٤٠ كيلو بار ينبغى أن تزيد صلابتها عن صلابة الصلب مرتين.

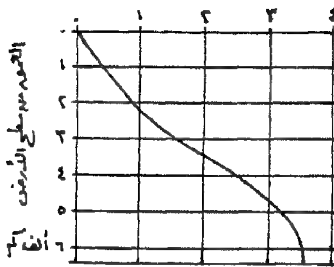
وقد استنتجت الباحثة الدانمركية A. Lehman عند دراستها للموجات الأولية (P) التى انعكست Reflected إلى الخلف عند اصطدامها بمادة الأرض عند عمق ٥١٥٠ كم، أن هذا العمق يمثل تحول فى طبيعة مادة الأرض من الحالة المائعة إلى الحالة الصلبة مرة أخرى. وقد قام الاستاذ جيفريز H. Jeffreys باختبارات عديدة للتحقق من صحة هذا الاستنتاج، ووجد أنه من المحتمل أن تكون هناك فى مركز النواة المائعة نوية أخرى صلبة. وقد دلت الدراسات الحديثة على أن هذه النوية الصلبة الداخلية على شكل قطع ناقص Ellipsiod.

(*) البار = ٠,٩٨٦ ضغط جوى، والكيلو بار = ١٠٠٠ بار.

ويبين (جدول ٣) ملخص عام لكثافة الأرض، ومقدار الضغط وتزايدهما مع تزايد العمق من سطح الأرض نحو مركزها وأعماق حدود انقطاعات الدرجة الأولى التى تقسم الأرض إلى: القشرة – الوشاح – النواة، وحدود انقطاعات الدرجة الثانية التى تقسم الأرض إلى طبقات، وذلك اعتماداً على دراسة وتحليل الموجات الزلزالية كما يبين (شكل ٢١) المنحنيات البيانية المساعدة لتوضيح الجدول.

الكثافة جم/سم٣ الضغط: ألف كيلو بار





(أ) (ب)

(أ) تدرج الكثافة فى باطن الأرض.

١– طبقاً لحسابات بولين Bullen.

٢– طبقاً لحسابات مولودينسكى Molodensky.

(ب) تدرج الضغط من باطن الأرض.

شكل رقم (٢١)

وهكذا فإن الأرض كما يرسمها العلم اليوم تتركب من قشرة ثم وشاح ثم نواة خارجية مائعة ونوية داخلية صلبة (شكل ٢٢)، والقشرة التى نعيش عليها ليست أسمك نسبياً من قشرة البيضة.

جدول رقم (٢)

تزايد كثافة الأرض (جرام/ سم٢) والضغط (كيلو بار) مع العمق (كم) وملخص لتركيب الأرض

العمق/ نق الأرض		كثافة الأرض			الضغط	تركيب الأرض	
٦٣٧٠كم	١	Bullen ١٩٢٦	Molodensky 1955	مصادر مختلفة		الحدود والانقطاعات	طبقات الأرض
صفر	صفر	–	–	٢,٥ – ٢,٧	٠,٠٠١	سطح الأرض.	القشرة الأرضية.
٦٠	٠,٠١			٢,٩ – ٣,٣	٩,٠٠٠	حد موهو (انقطاع من الدرجة الأولى).	
٢٠٠	٠,٠٣					أضعف جزء في الأثينوسفير.	القسم العلوي من الوشاح العلوي طبقة الأثينوسفير أو طبقة جوتنبرج.
٣٠٠	٠,٠٤٧					الحد السفلي للأثينوسفير (انقطاع من الدرجة الثانية).	
٦٣٧	٠,١٠	٤,٣	٤,١				القسم السفلي من الوشاح العلوي طبقة جولينسين.
٧٠٠	٠,١١			٤,٣ – ٤,٥	٢٦٠	الحد بين الوشاح العلوي والوشاح السفلي.	
١٢٠٠	٠,١٩					(انقطاع من الدرجة الثانية)	
١٢٧٤	٠,٢٠					انقطاع من الدرجة الثانية.	
١٧٠٠	٠,٢٧	٤,٧	٤,٥			انقطاع من الدرجة الثانية.	الوشاح السفلي.
١٩١١	٠,٣٠					انقطاع من الدرجة الثانية.	
٢٤٠٠	٠,٣٨	٥,١	٤,٨			انقطاع من الدرجة الثانية.	
٢٥٤٨	٠,٤٠	٤,٥	٥,١			انقطاع من الدرجة الثانية.	
٢٩٠٠	٠,٤٥		٩,٩	٦,٥ – ١٠,٠	١٣٥٠	الحد بين الوشاح والنواة (حد جوتنبرج) انقطاع من الدرجة الأولى.	
٣١٨٥	٠,٥٠	١٠,١	١٠,٤				النواة الخارجية السائلة.
٣٨٣٢	٠,٦٠	١٠,٨	١١,٢				
٤٤٥٩	٠,٧٠	١١,٤	١١,٨				
٥٠٩٦	٠,٨٠	١١,٩	١٢,٢				
٥١٥٠	٠,٨١			١٢,٣–١٣,٣	٣٣٤٠	الحد بين النواة الخارجية والنوية الداخلية	
٥٧٣٣	٠,٩٠	١٢,١	١٢,٤			(انقطاع من الدرجة الأولى.	النوية الداخلية الصلبة.
٦٣٧٠	١,٠٠	١٢,٢	١٢,٥	١٣,٦٣,٦	٣٧٠٠	مركز الأرض.	

شكل رقم (٢٢)

قطاع استقرائي يبين تركيب الأرض على أساس نتائج دراسات الموجات الزلزالية الأولية (P)، الموجات الزلزالية الثانوية (S)

ثالثاً: مادة الأرض

Composition of the earth

اعتاد الجيولوجيون ومن نقل عنهم من الجغرافيين تصنيف الصخور النارية على أساس محتوى السيليكا إلى صخور حمضية Acidic تحتوى على سيليكا بنسبة ٦٥ ٪ وأكثر، وصخور متوسطة Intermediate تتراوح نسبة السيليكا بها بين ٥٢ ٪، ٦٥ ٪ وصخور قاعدية Basic تبلغ نسبة السيليكا بها من ٤٥ ٪ إلى ٥٢ ٪، وصخور فوق قاعدية Ultrabasic تقل بها نسبة السيليكا عن ٤٥ ٪. ومن وجهة النظر الكيميائية لا تعد هذه الصخور حمضية أو قاعدية. كما تسمى الصخور التى بها نسبة عالية من الصوديوم أو البوتاسيوم بالصخور القلوية Alkaline دون تعريف معنى القلوية أو تحديد نسبة الـ PH أى درجة تركيز أيون الهيدروچين بها. ويشيع تدريجياً فى الوقت الحاضر استعمال مصطلحات صخور سيليكية Silecous وصخور مافية Mafic وصخور فوق مافية Ultramafic والصخور المافية هى الصخور الغنية بمعدنى المغنيسيوم والحديد Magnesium & Ferrum (Mafic اختصار الكلمتين السابقتين). ويمكن تسمية تلك الصخور فى لغتنا العربية بالصخور الحديد ومغنسية أو الصخور المغنسيو حديدية حسب ازدياد نسبة الحديد عن المغنسيوم أو المغنسيوم عن الحديد.

وقد تمكن الباحثون من الحصول على ملايين العينات من صخور سطح القشرة الأرضية وتحليلها، كما أمكن الحصول على عينات من أعماق تصل إلى حوالى عشرة كيلو مترات من السطح. ولم تتوصل التقنيات الحديثة إلى وسيلة للحصول على عينات صخرية من أعماق أبعد من ذلك. وليست هناك طريقة للتعرف على الصخور التى لا يمكن ملاحظتها وفحصها إلا الطريقة الاستقرائية التى تعتمد على أدلة غير مباشرة، ومن ثم فهى محفوفة بمخاطر الحدس.

وقد أمكن فى الوقت الحاضر معرفة كتلة الأرض وحجمها ومن ثم كثافتها العامة(*)، كما أمكن تقدير كثافة الصخور عند الأعماق المختلفة من دراسة

(*) كتلة الأرض = ٥,٩٧٦ × ١٠^٢١ طن، حجم الأرض = ١,٠٨ × ١٠^٢٢ كم٣، الكثافة العامة للأرض = ٥,٥٢ جم/سم٣.

وتحليل طاقة وعزم الموجات الزلزالية الناجمة عن الزلازل العميقة بصفة خاصة.

أولاً: تكوين القشرة الأرضية:

تشير الأدلة السيزمية إلى أن القشرة الأرضية أسفل طبقة الرواسب السطحية تنقسم إلى طبقتين: طبقة عليا جرانيتية، وطبقة سفلى مافية يفصل بينهما حد كونراد الذى يختلف فى طبيعته وعمقه من مكان لآخر، بل يتلاشى تماماً فى المناطق العميقة من المحيطات:

١- الطبقة العليا الجرانيتية من القشرة الأرضية:

وتنقسم بدورها إلى قسمين: قارية ومحيطية.

(أ) القشرة القارية من الطبقة العليا الجرانيتية:

من المعروف أن صخور سطح الأرض غير متجانسة إذ تتكون الهوامش الحديثة للقارات من رواسب مجروفة ناتجة عن نشاط عمليات التعرية على اليابس، وأرسب معظمها فى بيئة مياه ضحلة هى بيئة الرصيف القارى، وقد يصل سمك هذه الرواسب إلى بضعة آلاف من الأمتار. بينما تتكون الأقاليم القارية القديمة المعروفة باسم الدروع Shields أو الكتل الصلبة من صخور نارية مثل الجرانيت وصخور عالية التحول مثل النيس، وبجانب الجرانيت يوجد البازلت والجابرو والصخور فوق المافية مثل البيريدوتيت، أى أن صخور الدروع القديمة غير متجانسة. وكذلك يعظم الاختلاف والتباين فى أقاليم الصخور الرسوبية لأن عمليات الترسيب تستطيع فصل وتصنيف المركبات الكيميائية أكثر مما تستطيعه عمليات تكوين الصخور النارية. فعند تحلل صخور سطح الأرض بعمليات التجوية الكيميائية تنقل كميات ضخمة من ذرات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم القابلة للذوبان فى الماء على شكل محلول إلى الأحواض البحرية. وقد يترسب فى تلك البيئة البحرية الكالسيوم على شكل حجر جيرى وربما على شكل كربونات كالسيوم نقية. وتترسب فى البحيرات الساحلية Lagoons تحت ظروف البخر الشديد كبريتات الكالسيوم وكلوريد

الصوديوم. كما تنقل السيليكا والألومنيوم الناتجة من تحلل وتفكك الصخور الأصلية كمحلول أو فتات، وتترسب السيليكا على شكل حبيبات رملية كوراتزية ويترسب الألومنيوم مع كمية من السيلكيا على شكل صفائح رقيقة من الصلصال. ويترسب كل نوع منفصل عن الآخر بسبب اختلاف ظروف وبيئات ترسب كل منها. ويمكن لعمليات التصنيف هذه أن تكون معادن ناتجة عن انفصال كيميائى حقيقى.

ويبين (جدول ٤) نسب المعادن الرئيسية فى بعض أنواع الصخور الشائعة.

ولحساب متوسط مكونات القشرة القارية لابد من دراسة مصادر صخرية مختلفة، كما يجب معرفة حجم المصدر الصخرى بدقة. ويفترض لتسهيل عمليات الحساب أن كل الصخور الرسوبية والصخور المتحولة قد أتت من تكسر وتفتت وتحلل وتحول الصخور النارية. والصخور النارية متباينة ولا يوجد صخر نارى يمكن اعتبار تركيبه الكيميائى متوسط لتركيب باقى الصخور، إلا أن التباين فى الصخور النارية أقل منه فى الصخور الرسوبية والمتحولة. ولذلك قام كثير من الباحثين بجمع وتصنيف كل ما نشر من نتائج تحليل الصخور النارية وحساب متوسط التركيب الكيميائى منها، ومن أفضل تلك الدراسات ما قام به كلارك وواشنطون Clarke & Washington والمساحة الجيولوجية الأمريكية. ويمكن القول أن مثل هذه الدراسات تنحاز بصورة أو بأخرى نحو الغريب أو النادر من الصخور، كما أن معظم نتائج التحاليل كانت لعينات مصدرها أوربا وأمريكا الشمالية والقليل من أفريقيا وآسيا. وبالنسبة للنقطة الأولى، فإن كثير من الباحثين يتوخون الدقة عند تحليل الغريب من الصخور ويحرصون على نشر نتائج تلك التحاليل، بينما لا تتوافر هذه الدقة عند تحليل الصخور الشائعة مثل الجرانيت أو البازلت، ولا يعتنى بنشر نتائجها على الرغم من أنها تتواجد بكميات كبيرة فى الطبيعة، وبالنسبة للنقطة الثانية فلا تحتاج إلى تعقيب. لذلك من الأفضل الاعتماد على نتائج الحسابات التى قامت على أساس تقدير الأحجام النسبية للأنواع المختلفة من الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة والتركيب

جدول رقم (٤)

نسب المعادن الرئيسية في بعض أنواع الصخور الشائعة (عن: Harris, p.)

المعدن / الصخر	حجر رملي كوارتزي	طفل	حجر جيري عضوي فوكيميائي	جرانيت وصخور جوفية سيليكية	بازلت وصخور طفحية مافية	بيريدوتيت وصخور جوفية فوق مافية
أكسيد السيليكون	٩٥,٤	٥٥,١	٥,٢	٧٢,٣	٥٠,٨	٤٣,٥
أكسيد التيتانيوم	–	٠,٩	٠,١	٠,٣	٢,٠	٠,٨
أكسيد الألومنيوم	١,١	١٦,٣	٠,٨	١٤,٠	١٤,١	٤,٠
أكسيد الحديديك	٠,٤	٤,٢	٠,٥	٠,٩	٢,٩	٢,٥
أكسيد الحديدوز	٠,٢	١,٩	٠,٥	١,٥	٩,١	٩,٨
أكسيد المنجنيز	–	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٥	٠,٢	٠,٢
أكسيد المغنسيوم	٠,١	٢,٥	٧,٩	٠,٥	٦,٣	٣٤,٠
أكسيد الكالسيوم	١,٦	٤,٧	٤٢,٦	١,٤	١٠,٤	٣,٥
أكسيد الصوديوم	٠,١	١,٧	٠,٠٥	٣,١	٢,٢	٠,٦
أكسيد البوتاسيوم	٠,٢	٣,٠	٠,٣	٥,١	٠,٨	٠,٢
ماء +	٠,٣	٥,٢	٠,٥	٠,٦	٠,٩	٠,٨
ماء –	–	–	٠,٢	–	–	–
أكسيد الفوسفور	–	٠,١١	٠,٠٤	٠,١٥	٠,٢	٠,٠٥
أكسيد الكوبالت	١,١	٤,٠	٤١,٦	–	–	–

الكيميائى لكل منها. وقد قام الاتحاد الدولى للجيوديسيا والطبيعة الأرضية بنشر نتائج تلك الحسابات (جدول رقم ٥).

جدول رقم (٥)

التركيب الكيميائي للقشرة القارية

حسب الأحجام النسبية لصخور المصدر

المعدن	النسبة المئوية	المعادن العنصرية التي توجد بكميات طفيفة	الكمية/ جزء في المليون
ثانى أكسيد السيليكون	٦١,٩	باريوم	٤٢٥
أكسيد الألومنيوم	١٥,٦	سترانشيوم	٣٧٥
أكسيد الحديديك	٢,٦	زريكونيوم	١٦٥
أكسيد الحديدوز	٣,٩	نحاس	٥٥
أكسيد الكالسيوم	٥,٧	سكانديوم	٢٢
أكسيد المغنسيوم	٣,١	رصاص	١٢,٥
أكسيد الصوديوم	٣,١	يورانيوم	٢,٧
أكسيد البوتاسيوم	٢,٩	زئبق	٠,٠٨
أكسيد التيتانيوم	٠,٨	فضة	٠,٠٧
أكسيد الفوسفور	٠,٣	ذهب	٠,٠٠٤
أكسيد المنجنيز	٠,١		
الإجمالى	١٠٠,٠		

ويتضح من الجدول السابق أن هذا التركيب الحسابى المتوسط يقف بين تركيب الجرانيت وتركيب البازلت. وعلى هذا فإن نتائج التحاليل القديمة التى تثبت أن القشرة القارية جرانيتية ليست صحيحة، فهذه القشرة ليست جرانيتية، ويعتبر صخر الجرانودايوريت أقرب الصخور النارية فى تركيبه الكيميائى لهذا التركيب الكيميائى الحسابى المتوسط.

كما يتضح من الجدولين السابقين أن أكسيد السيليكون يأتى فى المقدمة أى

أن العنصر الرئيسي الشائع فى القشرة القارية هو السيليكون. وعند تحليل الأكاسيد الأخرى لمعرفة نصيب العنصر نلاحظ أن الاكسيجين يأتى فى المقدمة بنسبة ٤٦,٥ ٪ من وزن القشرة القارية ويتراجع السيليكون ليحتل المرتبة الثانية. ويؤكد هذا التفوق للأكسيجين حساب الأعداد النسبية للذرات فى كل معدن. ويلاحظ عند دراسة المعادن السيليكاتية أنها تتكون من ٤ أيون سيليكون، ٢ أيون أكسيجين. وحجم أيون الأكسيجين فى المعادن كبير نسبياً (نصف قطر أيون الأكسيجين ١,٤ انجستروم)(*)، بالمقارنة مع حجم أيونات العناصر الأخرى مثل السيليكون والمغنسيوم (نصف قطر أيون السيليكون ٠,٤٢ انجستروم ونصف قطر أيون المغنسيوم ٠,٦٦ أنجستروم). وعلى أساس الحجم فإن حجم الاكسيجين يصل إلى ٩٤ ٪ من حجم القشرة القارية (جدول ٦).

جدول رقم (٦)

الأهمية النسبية للعناصر الرئيسية في القشرة القارية حسب الحجم (عن: .Mason, D. & Harris, P)

العنصر	الوزن ٪	العدد النسبي للذرات ٪	نصف قطر الأيون (انجستروم)	الحجم ٪
الاكسيجين	٤٦,٥	٦٢,١	١,٤	٩٤,٠٧
السيليكون	٢٨,٨	٢٢,٠	٠,٤٢	٠,٨٨
الألومنيوم	٨,٣	٦,٥	٠,٥١	٠,٤٧
الكالسيوم	٤,١	٢,٢	٠,٩٩	١,١٥
الحديدوز	٣,٠	١,١	٠,٧٤	٠,٢٥
الحديديك	١,٨	٠,٧	٠,٦٤	٠,٠٩
البوتاسيوم	٢,٤	١,٣	١,٣٣	١,٧١
الصوديوم	٢,٣	٢,١	٠,٩٧	١,٠٧
المغنسيوم	١,٩	١,٦	٠,٦٦	٠,٢٦
التيتانيوم	٠,٥	٠,٢	٠,٦٨	٠,٠٤
		٩٩,٦		٩٩,٩٩

(*) الانجستروم = $١٠^{-٨}$ سنتيمتر.

يتضح من الجدول السابق أن نصيب أيونات السيليكون ضئيل للغاية – التى يبلغ حجمها ٤٠ ٪ من حجم أيون الاكسيجين – لا يتعدى ١ ٪ من حجم القشرة القارية. وفى الحقيقة فإن المعادن السيليكاتية يمكن أن تقوم بتجميع أيونات الأكسيچين مع أيونات العناصر الأخرى المناسبة الأصغر حجماً وذلك فى الفراغات البينية. إذ تتحدد بنية المعادن السليكاتية بالشكل الهندسى الذى تتخذه الذرات مختلفة الحجم الداخلة فى التركيب عند انتظامها.

(ب) القشرة المحيطية من الطبقة العليا الجرانيتية :

تتكون الأرصفة القارية من رواسب مجروفة نحتتها عوامل التعرية النشطة على سطح يابس الأرض ونقلتها على شكل مواد معلقة وعلى شكل محاليل فى المجارى المائية، وتلك الرواسب لها نفس التركيب الكيميائى للصخور المصدرية التى أتت منها. أما فى المناطق العميقة من قيعان المحيطات، فإن مصدر الرواسب هو مياه المحيط، فهى ناتجة أى الرواسب – من عمليات كيميائية خاصة، ويضاف إليها بعض المواد القارية التى نقلتها الرياح. وقد يتكون الحديد وهيدروكسيد المنجنيز أو المعادن السيليكاتية مثل الفلسبار والزيوليت مباشرة فوق أرضية المحيط كنمو بللورى. وفى مناطق أخرى كثيرة تصبح هياكل الكائنات الحية البحرية أكثر أهمية، فهناك كربونات كالسيوم أتت من أصداف الفورامنيفرا أو من أصداف كائنات أكبر حجماً. وهناك رواسب سيليكية أتت من أصداف الدياتوم أو الراديولاريا وتبنى هذه أو تلك أوزكلسى Calcareous Ooz أو أوزسيليكى Silecous Ooz على قاع المحيط. ويتحدد التركيب النهائى لهذه الرواسب ليس فقط بنوع وطبيعة الكائنات الحية فى الطبقة السطحية من مياه المحيط ولكن بتأثير نواتج تحلل الهياكل الحيوانية التى تغوص وتهبط نحو القاع، بالإضافة إلى عمق الحوض المحيطى. إذ تختفى كربونات الكالسيوم فى مناطق الأعماق السحيقة، لأن الهياكل الكلسية تتحلل فى المياه بالتدريج قبل وصولها إلى القاع، لذا فإن الهياكل المتراكمة فى الأعماق السحيقة سيليكية. ويتم التراكم والترسيب ببطئ شديد يقدر بنحو بضعة ملليمترات كل ١٠٠٠ سنة. وطبقاً لمعدل التراكم وسمك تلك الرواسب يمكن القول أن عمر القيعان المحيطية يبلغ أكثر قليلاً من مائة مليون سنة.

وقد بينت التثقيبات فى قاع المحيط والعينات التى جلبت من المكاشف الصخرية على منحدرات وقمم السلاسل المحيطية الوسطى Mid - Oceanic Ridges، وجود طبقة بازلتية أسفل الغطاء الرسوبى السابق وتتخلله. ويتشابه معظم هذه البازلت فى تركيبه الكيميائى، فهو أفقر فى عنصر البوتاسيوم وأغنى بعنصر الألومنيوم من بازلت القشرة القارية. ويسمى هذا البازلت بالثيوليت المحيطى Oceanic Tholeiites ويبين (جدول ٧) نتائج التحليل الكيميائى له، وكذلك نتائج تحليل الزينوليت فوق المافى Ultramafic Xenolith الذى يظن أن مصدره القسم العلوى من الوشاح، ونتائج تحليل صخر البيروليت Pyrolite الذى يمكن اعتباره نموذجاً لمواد الوشاح (Ringwood, 1966).

جدول رقم (٧)

نتائج تحليل بعض العينات الصخرية

من القشرة المحيطية(*)

المعدن	بازلت ثيوليت محيطي	زينوليت فوق مافي (وشاح علوي)	بيروليت (نموذج من الوشاح)
ثانى أكسيد السيليكون	٤٩,٢	٤٤,٥	٤٥,٢
أكسيد الألومنيوم	١٥,٨	٣,١	٣,٥
أكسيد الكالسيوم	١١,١	٣,٢	٣,١
أكسيد الحديديك	٢,٢] ٩,٤	١,٢] ٧,٩	٠,٥] ٨,٥
أكسيد الحديدوز	٧,٢	٦,٧	٨,٠
أكسيد المغنسيوم	٨,٥	٣٩,١	٣٧,٥
أكسيد الصوديوم	٢,٧	٠,٢٥	٠,٥٧
أكسيد التيتانيوم	١,٤	٠,١٠	٠,٧٠
أكسيد البوتاسيوم	٠,٢٦	٠,٠٤	٠,١٣
أكسيد المنجنيز	٠,١٦	٠,١٠	٠,١٠
أكسيد الفوسفور	٠,١٥	–	–
أكسيد الكروم	–	٠,٤٠	٠,٤٠
أكسيد النيكل	–	٠,٢٤	٠,٢٠

(*) مصدر هذه العينات المنحدرات الجانبية واخدود محور السلسلة الأطلسية الوسطى.

وأحياناً كانت العينات الصخرية التى تم الحصول عليها من الأسطح شديدة الانحدار التى تكونت نتيجة حركات مختلفة أو نتيجة انزلاق كتلى على قاع المحيط عبارة عن سربنتينيت Serpentinite وهو المكافئ الهيدراتى للصخور فوق المافية.

وتتناثر فوق قاع المحيط جبال ذات جوانب شديدة الانحدار، بعضها شاهق الارتفاع حتى يرتفع فوق مستوى سطح الماء على شكل جزر، وبعضها لا يبرز فوق سطح الماء ويسمى فى هذه الحالة بالجبال البحرية Sea Mountains (قمم غاطسة)، ويعرف البعض الثالث بالـ Guyot وهى عبارة عن جبال مشطوفة القمة أى لها قمة مسطحة تحمل شواهد تشير إلى أنها نحتت عند مستوى سطح ماء المحيط على الرغم من أنها تنخفض عن هذا المستوى بمقدار يتراوح بين ١و٢ كيلو متراً (شكل ٢٣ أ). وتتكون تلك الجزر والجبال البحرية والجايوتات من صخور بركانية. وقد أثبتت الدراسات أن كل الجزر فى الأحواض المحيطية العميقة أصلها بركانى، وصخورها عبارة عن بازلت قلوى يختلف عن الثيوليت المحيطى، وبصفة خاصة فى احتوائه على كمية أكبر من أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم والتيتانيوم.

والخلاصة فإن التقدير الأولى الذى يمكن افتراضه هو أن القشرة الأرضية التى تكون قيعان المحيطات تتكون من ثيوليت محيطى، والافتراض البديل هو أن هذه القشرة غنية بالسربنتينيت – المكافئ الهيدراتى لمواد الوشاح – الذى ربما يرجع إلى علاقة محلية مع الوشاح العلوى فى مناطق الحركة.

٢-الطبقة السفلى المافية من القشرة الأرضية:

تشير دراسة الموجات الزلزالية أن كثافة هذه الطبقة تبلغ ٢,٩ – ٣,٠ إذ أن سرعة وطاقة الموجات أكبر. وتتكون هذه الطبقة من جابرو Gabbro وصخر جوفى معادل للبازلت الذى يتكون منه قيعان المحيطات. ولكن ظروف الضغط والحرارة لا تسمح بوجود مثل هذا البازلت فى صورته وتكوينه المعروف، لأنه تحت هذه الظروف سيتحول إلى صخر اكثف يتحمل ضغطاً أعلى، ويسمى هذا الصخر إكلوجيت Eclogite ولكن هذا الافتراض مشكوك فيه لأن كثافة

الاكلوجيت تعتبر عالية جداً ولا تتوافق مع النتائج السيزميه(*). والافتراض المقبول حسب الموقف العلمي الحالي هو أن هذه الطبقة ذات تركيب يشبه القشرة المحيطية ولكن معادنها تكونت تحت ضغط عال، لذا فإن كثافتها أعلى من كثافة المعادن التي تكونت تحت ظروف ضغط منخفض. ويمكن تقدير اختلاف الكثافة من تغير سرعة وطاقة الموجات الزلزالية. إلا أن هناك اختلاف وحيد هو أن هذه الطبقة السفلي فقيرة في البوتاسيوم والثوريوم، وهذا الاختلاف له أهمية كبيرة لأن هذه العناصر المشعة هي المصدر الحالي لحرارة الطبقة العليا الجرانيتية من القشرة الأرضية.

ثانياً: تكوين الوشاح:

يحدد التزايد المفاجئ في سرعة الموجات الزلزالية عند قاعدة القشرة الأرضية الحد الفاصل بينها وبين الوشاح. ويمتد هذا الوشاح حتى عمق ٢٩٠٠ كم أي إلى الحد الفاصل بينه وبين النواة الخارجية المائعة. وبالرغم من أن هذه المسافة أقل من نصف نصف قطر الأرض، إلا أنه يمثل ٨٢٪ من حجم الأرض، ٦٨٪ من كتلتها. وفي الواقع لا يمكن الوصول إلى الوشاح والحصول منه على عينة، إلا أن فهمه وفهم طبيعته في غاية الأهمية للأسباب التالية :

١- من المعروف أنه في بداية نشأة الأرض كان يغلفها طبقة سيليكية واحدة هي الوشاح الأصلي، وقد نشأ عنها وتطور منها خلال العصور الجيولوجية المتتابعة القشرة الأرضية عن طريق العوامل الخارجية بالإضافة إلى النشاط البركاني.

٢- يعتبر الوشاح هو اقليم المصدر لمعظم الطاقة الأرضية الداخلية والقوى المسئولة عن: زحزحة القارات والحركات البانية للجبال والزلازل الرئيسية وتمدد قيعان المحيطات وحركة الألواح التكتونية.

(*) كثافة الإكلوجيت ٣,٥ جم/سم٣.

وطبيعة مكونات الوشاح مازالت غير واضحة إذ كان الباحثون الأوائل يرون أن صخور الوشاح العلوى تكافئ صخر الدونيت Dunite وهو صخر يتكون من الاوليفين (سيليكات المغنسيوم والحديد)، لأن كثافة ولدونه الدونيت تعد مناسبة لطبيعة هذا القسم العلوى من الوشاح كما تشير إليه نتائج دراسة الموجات الزلزالية. وقد عدلت الدراسات الحديثة هذا الرأى، فليس هناك صخر على سطح الأرض يمكن النظر إليه على أنه أتى مباشرة من الوشاح بدون تغيير. ولكن هناك صخور يمكن أن تكون بمثابة عينة ممثلة إلى حد ما لمواد الوشاح، هذه الصخور هى الصخور فوق المافية التى تتكون من نسبة كبيرة من الاوليفين وبعض الأورثوبيروكسين Orthopyroxene والكلينوبيروكسين Clinopyroxene والانستاتيت Enstatite والديوبسيد Diopside ويمثل جدول (٨) التركيب المعدنى للبيروكسين بنوعيه.

جدول رقم (٨)

التركيب المعدني للبيروكسين بنوعيه

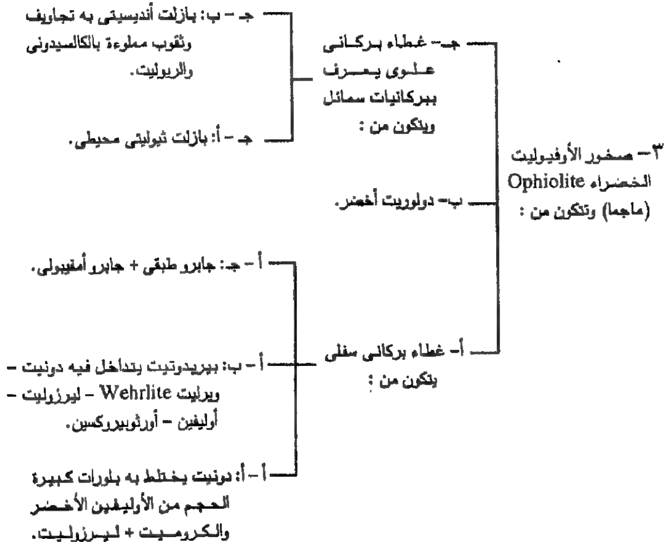
الكلينوبيروكسين Clinopyroxene		الأورثوبيروكسين Orthopyroxene	
Enstatite	انستاتيت	Enstatite	انستاتيت
Hypersthene	هيبرثين		هيبرثين + برونزايت
Ferrosilite	فيروسيليت	Hypersthene + Bronzite	
Diopside	ديوبسيد	Ferrosilite	فيروسيليت
Sahilite	ساهيليت	Harzburgite	هارتزبورجيت
Hedenbergite	هيدينبرجيت	Lherzolite	ليرزوليت
Augite	أوجيت		
Omphacite	أومفاسيت		
Pigeonite	بيجيونيت		
Aegirine	ايجراين		
Jadeite	جاديت		
Spodumene	سبودومين		
Lherzolite	ليرزوليت		

ويمكن القول أن كتل الصخور الضخمة فوق المافية التى تبرز على الأقاليم المتأثرة بالحركات البانية للجبال بمثابة شرائح من الوشاح قد تداخلت فى القشرة الأرضية. وإذا كان ذلك صحيحاً، فإنه خلال التحرك استجابة للحركة البانية للجبال لابد وأن هذه الصخور قد وقعت تحت قدر من التغير غير معروف، وربما كان هذا التغير عبارة عن انصهار جزئى وبالتالى فقدان بعض العناصر والمركبات القابلة للانصهار فى طور السيولة.

وقد تمت دراسة قطاع يمتد من سطح الأرض إلى القسم العلوى من الوشاح العلوى أسفل حد موهو مباشرة فى حوض وادى سمائل بسلطنة عمان بالقرب من مسقط. ويتكون هذا القطاع من: (يقرأ من أسفل إلى أعلى).

٥- صخور رسوبية قارية وبحرية.

٤- قواطع متداخلة تمتد من صخور التكتيونيت السفلى إلى الغطاء البركانى العلوى، وبعضها يمتد حتى سطح الأرض. وتمتلئ تلك القواطع بصخور من البيريدوتيت - الجابرو - الدولوريت - الجرانيت - التروندجيميت Trondhjemite - الجابرو البيجماتيتى - الويبستريت webstrite.



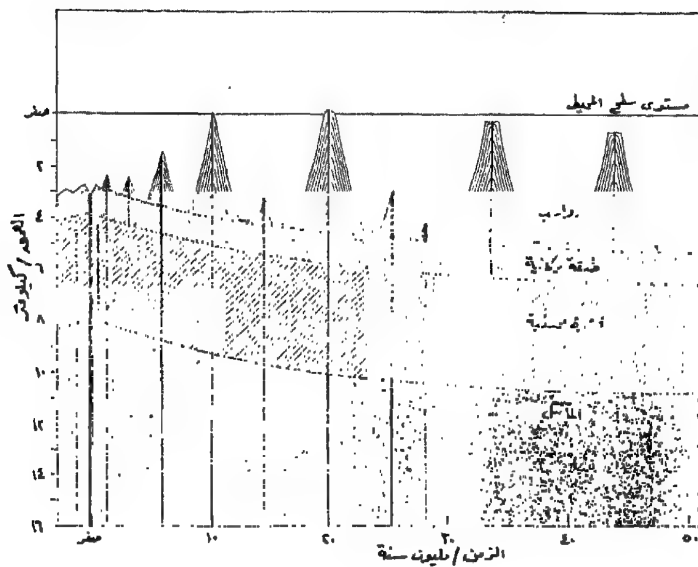
٢- صخور التكتيونيت Tectionites والهارتزبورجيت السربنتيني: ويوجد الأوليفين والأورثوبيروكسين وعروق من الدونيت Dunite وقواطع من الجابرو البيجماتيتي.

١- صخور من البيريدوتيت والهارتزبورجيت والأمفيبوليت والشست الأخضر.

ويبين (شكل ٢٣) القطاع السابق الذي يلخص مكونات القسم العلوي من الوشاح العلوي أسفل حد موهو مباشرة، والعلاقة بينه وبين القشرة الأرضية.

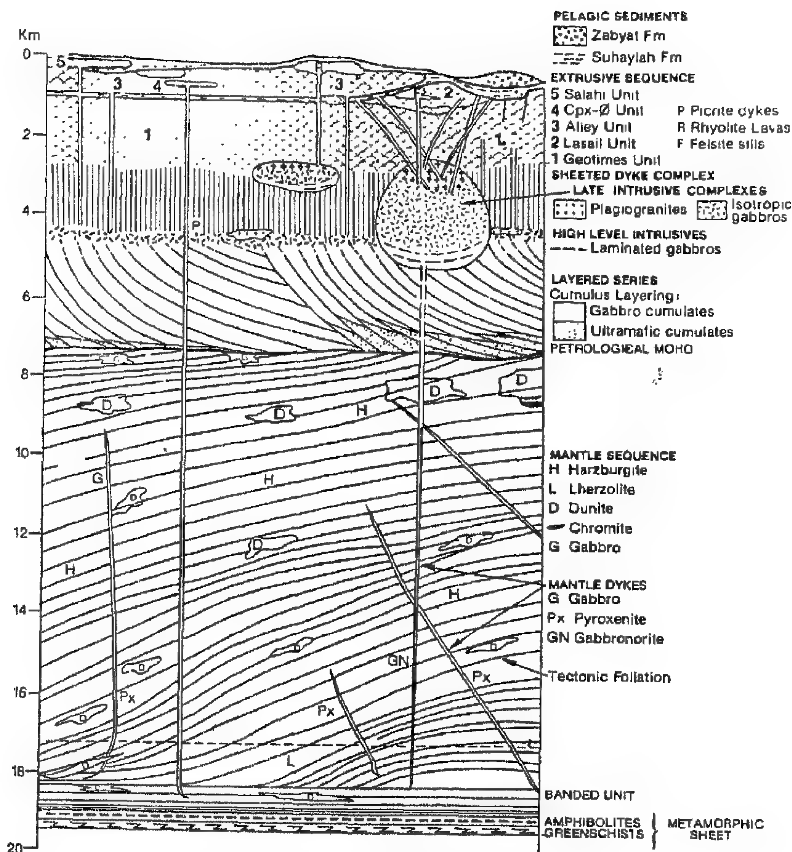
وهناك عينة أخرى يمكن أن تكون شبيهة لمواد الوشاح وهي صخر الزينوليت Zenolithe (صخر فوق مافي له مظهر بلوتوني) وهو عبارة عن كتل صخرية غريبة تأتي أحياناً مع الانبثاقات البركانية، وتوجد في بعض الطفوح البازلتية، وفي صخور الكمبرليت Kimberlite وهي الصخور الحاوية للماس. ويبدو أنه عند الاندفاع السريع للماجما التي مصدرها الوشاح العلوي قد استطاعت اقتلاع وانتزاع بعض من المواد الصخرية الصلبة للوشاح ونقلها إلى السطح. وهناك تشابه عام في التركيب الكيميائي والتركيب المعدني بين الزينوليت فوق المافي وبعض أنواع الصخور الأخرى فوق المافية. ويؤيد هذا التشابه الأصل المشترك بينهما الذي يبدو أنه الوشاح العلوي.

ويعترض بعض الدارسين على اعتبار هذه العينات تمثل الوشاح العلوي على أساس أنها لا تمثل متوسط مكونات هذا الوشاح. وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن الوشاح غير متجانس في خواصه وصفاته ومركباته سواء في الإتجاه الرأسي أو في الاتجاه الأفقي. ويرجع عدم التجانس هذا إلى أن الانصهار والتحول إلى الطور السائل المسبب لظاهرة البراكين العميقة يتم بصورة جزئية وليس بصورة شاملة. لأنه إذا كان هذا الانصهار شاملاً فإن كل المركبات المعدنية سوف تتحول إلى أوليفين. وفي الواقع يمكن اعتبار صخر الدونيت ممثلاً إلى حد ما للعينات التي من المحتمل أنها تشبه مادة الوشاح العلوي والتي تتركب من نسبة كبيرة من الأوليفين. لكن يجب التأكيد مرة أخرى على أن هذه العينات ومن بينها الزينوليت فوق المافي قد وقعت بدرجة أو بأخرى تحت عامل الانصهار. ويتفق الدارسون على أن التركيب المتوسط للوشاح يجب أن



شكل (٢٢)

أ- الجزر البركانية المحيطية والجبال المحيطية والجايوت



شكل (٢٣)

ب- ملخص لمكونات القسم العلوي من الوشاح العلوي أسفل حد موهوMOHO مباشرة والعلاقة بينه وبين مكونات القشرة الأرضية.

(المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية الوطنية بسلطنة عمان).

يكون زينوليت فوق مافى بالإضافة إلى نسبة محدودة من طور سائل بازلتى. ويرى رنجوود (Ringwood, 1966) أن الوشاح العلوى يتكون من صحور فوق مافية وبازلتية بنسبة ٣ : ١، وهذا يعنى أن ٢٥ ٪ من الوشاح فى حالة انصهار. وتحطى اختلاط هذه النسبة بنسبة الـ ٧٥ ٪ الباقية صخر البيروليت Pyrolite وهو المادة الأصلية التى يمكن افتراضها للوشاح العلوى.

وتعد الشهب والنيازك مصدراً هاماً من مصادر معرفة طبيعة وتركيب الوشاح، فهى تقدم عينات كاملة لأنها اجزاء من الأجسام الصلبة التى أتت منها. وإذا كانت هذه الشهب والنيازك مصدرها نطاق الكويكبات، وإذا كانت الكواكب والكويكبات متشابهة لأنها من أصل واحد، فإنها يمكن أن تحكى لنا عن داخل الأرض أكثر مما تستطيع أن تحكيه لنا صخور الأرض نفسها. ومن المعروف أن الشهب النيازك تختلف فيما بينها، ويشير هذا الاختلاف إلى اختلاف مكونات الجسم الأصلى الذى أتت منه. ومن المرجح أن هذه الاختلافات كانت موجودة فى الماضى فى المادة الأصلية التى أتت منها كل من الشهب والنيازك والأرض.

وتشير دراسة العينات إلى أن هناك اختلاف محدود فى تركيب الوشاح العلوى، ولكن هذا لا يعنى أن الجزء الأكبر منه متجانس تقريباً. والتركيب المعدنى المتوسط للمواد غير القابلة للانصهار من الوشاح العلوى ربما يكون ٧٠ ٪ أوليفين، ١٥ – ٢٠ ٪ لكل من الانستاتيت البيروكسينى والديوبسيد الكلينوبيروكسينى. وعندما يحدث الانصهار وتتحرك وتنتشر المادة المنصهرة فإن نسبة الأوليفين تصبح أكبر، وهذه حقيقة حتى عمق يتراوح بين ٦٠، ١٠٠ كم وهى الاعماق التى يأتى منها معظم البازلت والزينوليت فوق المافى الذى يأتى معه (يمكن تعريفه بالزينوليت البازلتى)، وبطبيعة الحال سوف يختلف العمق تبعاً لظروف الحرارة المحلية. ويتصل بتلك المعادن الرئيسية الثلاثة فى الأعماق البعيدة معدن رابع هو الجارنت Garnet ويسمى بالبيروب Pyrope (سيليكات الألومنيوم المغنسية) لأن تركيبه الكيميائى متنوع. ويمثل مواد الوشاح العلوى عند عمق أكبر الزينوليت فوق المافى الذى يوجد فى عروق

الكمبرليت، ويؤكد هذه الحقيقة وجود الماس الذى يتكون تحت ضغط مرتفع فى الكمبرليت. وعلى هذا يمكن القول أن الزينوليت فى الكمبرليت قد أتى من أعماق أكبر – تصل إلى حوالى ١٥٠ كم – من الأعماق التى أتى منها الزينوليت البازلتى.

ويتشابه التركيب الكيميائى لكل من مجموعتى الزينوليت (زينوليت الكمبرليت، والزينوليت البازلتى) على الرغم من اختلاف التركيب المعدنى. ولم يتوصل الباحثون حتى الآن إلى معرفة طبيعة التغيرات المحتملة فى التركيب الكيميائى عند الأعماق الأبعد من ذلك. ولكن يمكن التكهن بأن التغيرات – إذا كانت هناك تغيرات بالفعل – ربما تؤثر على العناصر ذات النسب البسيطة مثل البوتاسيوم بدرجة أكبر من تأثيرها على العناصر الرئيسية ذات النسب الأكبر مثل المغنسيوم. ويبدو أن هناك تغيراً من نوع ما يجب أن يحدث فى الجزء السفلى من الوشاح العلوى (بين عمق ٣٠٠ كم وعمق ٧٠٠ كم)، ويؤكد هذا التغير تزايد سرعة الموجات الزلزالية التى تشير إلى التزايد فى الكثافة. ولكن تبعاً للموقف العلمى الحالى يبدو هناك ثبات داخل كل قسم من أقسام الوشاح الثلاثة.

من المعروف أن المعادن تتجمع تحت ظروف ضغط وحرارة معينة وتتصف بالاستقرار طالما ظلت تلك الظروف سائدة، ولكن وفى ظل ظروف ضغط وحرارة مغايرة تصبح غير مستقرة ويعاد تبلورها، وتتكون معادن جديدة مستقرة فى ظل هذه الظروف الجديدة. فإذا كانت هناك قوة تؤثر فى نظام متزن فإنه تحدث تغيرات فى هذا النظام تؤدى إلى ازاحة التوازن فى إتجاه تعطيل أو إبطال تأثير تلك القوة. وبناء على ذلك، إذا وقع صخر ما تحت ضغط معين فإن التغير الذى يحدث فى معادن هذا الصخر يكون فى اتجاه التخلص من هذا الضغط عن طريق تصغير الحجم، وهذا يعنى ارتفاع الكثافة. وبالنسبة للوشاح فعند تزايد العمق وبالتالى تزايد الضغط فإن التغيرات التى تحدث فى المعادن تؤدى إلى التناقص فى الحجم والتزايد فى الكثافة.

ويتم التزايد فى الكثافة فى الوشاح بثلاث طرق :

١- ضغط محدود ومنتظم يؤدى إلى تناقص فى الحجم حسب مقداره وإلى تزايد فى الكثافة، ولا يؤدى هذا الضغط إلى تغير فى تركيب وبنية البللورات، وهذا ما يحدث حتى عمق ٢٠٠ - ٣٠٠ كم.

٢- يمكن أن يعاد ترتيب ذرات بعض المعادن أى يعاد تبللورها إلى بنيات أعلى كثافة، ويحدث هذا النوع من التحول المتعدد Polymorphism فى الوشاح. إذ يمكن اعادة تبلور الأوليفين على سبيل المثال عند ضغط ١٥٠ كيلو بار إلى أشكال متعددة أو إلى بنية مغزلية Spinel Structure ويبلغ التزايد فى الكثافة طبقاً لهذا الضغط حوالى ٨٪ ويعاد تبلور البيروكسين عند ضغط ٢٠٠ كيلو بار إلى بنية أعلى كثافة ويصبح شبيه بالكوراندوم Corundum (اكسيد الألومنيوم)، وتتزايد الكثافة بنسبة ١٠٪. ويبدو أن هذا ما يحدث فى الجزء السفلى من الوشاح العلوى بين عمق ٣٠٠ كم، عمق ٧٠٠ كم.

٣- يمكن أن تتفاعل المعادن مع بعضها - تحت ظروف معينة - وتتكون معادن جديدة، أو يتفكك معدن ما إلى معدنين جديدين. على سبيل المثال تحت ظروف الضغط المنخفض يتم التفاعل بين اكسيد المغنسيوم وثانى أكسيد السيليكون على النحو التالى :

اكسيد المغنسيوم + ثانى أكسيد السيليكون ⟵ سيليكات المغنسيوم



وتتكون سيليكات المغنسيوم عند استهلاك الأكاسيد، وتصل إلى حالة استقرار وثبات مع الظروف الجديدة. ولكن تحت ظروف الضغط العالى، يتم التفاعل على النحو التالى :

سليكات المغنسيوم ⟵ أكسيد مغنسيوم + ثانى أكسيد السيليكون (السيليكا)



وكثافة اكسيد المغنسيوم MgO ٣,٦ جم/سم٣، بينما توجد السيليكا تحت ضغط ١٥٠ كيلو بار على شكل معدن الستيشوفيت Stishovite وهو معدن متحول عن الكوارتز وكثافته ٤,٣ جم/سم٣. لذا فإن اكسيد المغنسيوم والستيشوفيت يجب أن يكونا أعلى كثافة من سيليكات المغنسيوم (٣,٣ جم/سم٣)، وظروف الضغط العالى تسمح بهذا التكوين.

والخلاصة، يتفق الباحثون على أن الوشاح السفلى يتكون من سيليكات عالية الكثافة متعددة التحول، أو من أكاسيد عالية الكثافة مثل الستيشوفيت واكسيد المغنسيوم، وإن الجزء السفلى من الوشاح العلوى عبارة عن نطاق انتقالى بين الجزء العلوى من الوشاح منخفض الكثافة والوشاح السفلى عالى الكثافة. ويرجع التزايد السريع غير المنتظم فى كثافة هذا الجزء السفلى من الوشاح العلوى إلى التغيرات التى تحدث للوصول إلى حالة اتزان واستقرار معدنى مع تزايد العمق. وربما هذا ما يفسر الاضطرابات والزلازل العنيفة التى تحدث فيه (طبقة جوليتسين).

ثالثاً: النواة Core :

تمتد النواة من عمق ٢٩٠٠ كم حتى مركز الأرض، وتتكون من قسمين: نواة خارجية Outer Core مائعة لا تخترقها موجات القص الثانوية (S) وتخفت فيها موجات الضغط الأولية (P)، ونوية داخلية Inner Core صلبة تصل كثافتها إلى ١٣,٦ جم/سم٣. ويميز الحد بين القسمين التزايد الفجائى فى سرعة وطاقة الموجات الأولية ويقع هذا الحد عند عمق ٥١٥٠ كم. كما يعين الحد الفاصل بين الوشاح والنواة التغير الحاد فى الكثافة من ٦,٥ جم/سم٣ إلى ١٠ جم/سم٣، وتزداد الكثافة بازدياد العمق فى النواة حتى تصل إلى ١٣,٦ جم/سم٣، وهذا يعنى أن كثافة النواة ضعف كثافة الوشاح. وعلى الرغم من أن النواة تساوى ١٦٪ من حجم الأرض، إلا أنها تساوى ٣٣٪ من كتلتها.

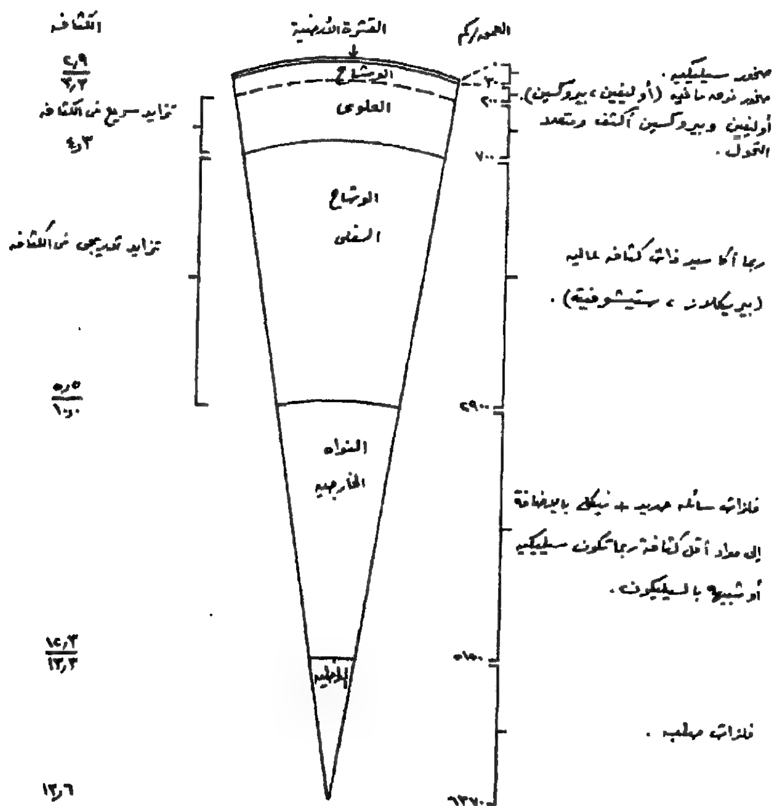
ويبدو طبيعياً افتراض أن النواة تتكون من حديد ونيكل وذلك من دراسة الشهب والنيازك. إذ تتركب النيازك الفلزية والأطوار المعدنية من الشهب الحجرية من حديد و ٦ ٪ نيكل. ومن وجهة النظر الكيميائية فإن الظروف المحتملة التي تكونت في ظلها الأرض تشير إلى أن المعادن الحديدية ينبغي أن تكون هي الشائعة في النواة. وهناك افتراض آخر يرى أن النواة عبارة عن سيليكات اكتسبت سحنة فلزية عالية الكثافة نتيجة لتفكك نظامها الاليكتروني تحت الضغط الهائل وكذلك هناك افتراض ثالث مؤداه أن النواة عبارة عن هيدروچين في حالة فلزية بسبب الضغط الهائل في النواة. وعلى فرض حدوث مثل هذا التحول في السيليكات أو الهيدروچين تحت ظروف الضغط الهائل في النواة، فليس هناك دليل على أن الكثافات الناجمة عن هذا الضغط تكون عالية لتعليل هذا الارتفاع في كثافة النواة. فكوكب عطارد – على سبيل المثال – وهو أحد الكواكب عالية الكثافة (متوسط كثافته ٥,٥٠ جم/سم٣) أصغر الكواكب (نصف قطره = ٠,٣٨ بالنسبة لنصف قطر الأرض)، وهذا يعني أنه أقلها في الضغط، لذلك فإن الكثافة العالية لعطارد والتي تقارب متوسط كثافة الأرض لا يمكن تعليلها بعامل الضغط وحده.

وعلى الرغم من أن هناك شبه اتفاق على افتراض أن نواة الأرض فلزية حديدية، إلا أن هناك بعض الاعتراضات. فعند تصحيح كثافة النواة بالنسبة للضغط المؤثر تصبح أقل من كثافة الحديد النقي أو كثافة الحديد والنيكل. ويدل ذلك على وجوب وجود كمية من العناصر – يمكن تقديرها – ذات كثافة أقل. ويشير وجود الكربيدات Carbides أو الكبريتيدات Sulphides في النواة، أو الانحلال الجزئي لاكسيد المغنسيوم في الطور الفلزي تحت الضغط العالي، يشير إلى ضرورة انخفاض كثافة النواة عما هي عليه بالفعل. والبديل الذي يمكن افتراضه كعنصر أقل كثافة يختلط بالحديد أو الحديد والنيكل هو السيليكون. فالأرض قد انكمشت واندمجت بصورة كبيرة أثناء أو بعد تكونها،

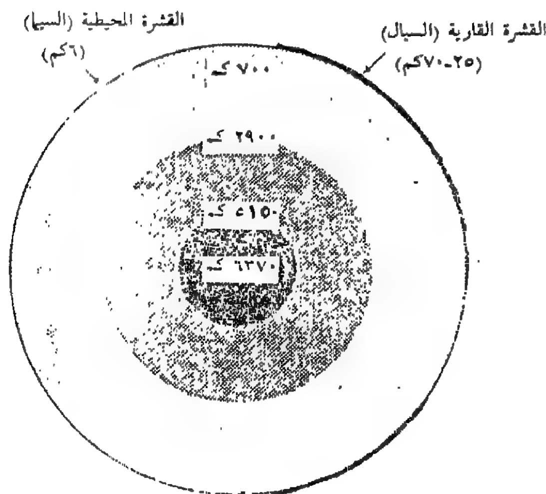
وأدى هذا ليس فقط إلى تحول معظم المركبات الحديدية إلى فلزات، ولكن إلى تحول بعض السيليكيتات إلى سيليكون يوجد الآن فى النواة. ويقدر الموقف العلمى الحالى كمية السيليكون فى النواة الخارجية السائلة بحوالى ٢٠ ٪ بالإضافة إلى ٨٠ ٪ حديد ونيكل، ولكن هذا التقدير قابل للتعديل.

ويرجع ارتفاع كثافة النوية الداخلية عن النواة الخارجية إلى الاختلاف بين الفلزات المائعة والفلزات الصلبة التى لها نفس التركيب الكيميائى. ولكن ينبغى النظر بحذر لهذا التعليل، ذلك لأنه عند نمو النواة الداخلية تدريجياً فإن العناصر الأقل قابلية للانصهار فى النواة الخارجية سوف تندمج بها، بينما تظل العناصر الأخرى التى لها قابلية أكبر للانصهار فى حالة سائلة. وفى هذه الحالة لا يمكن تخمين التغيرات الكيميائية التى سوف تحدث بين القسمين الداخلى والخارجى للنواة.

ويوضح (شكل ٢٤) الخصائص العامة لقطاع استقرائى يمتد من سطح الأرض حتى مركزها ويلخص تركيب وتكوين الأرض.



شكل رقم (١٢٤أ)
قطاع استقرائي عام يمتد من سطح الأرض إلى مركزها ويلخص تركيب وتكوين الأرض



شكل رقم (٢٤ب)
التركيب الداخلي لنطاقات تكوينات الأرض

رابعاً: حرارة الأرض

تتلقى الأرض الطاقة الحرارية من مصدرين: الأول هو الشمس وذلك حتى عمق متوسط يتراوح بين ٢٨م، ٣٠م من سطح الأرض. ويبرز أسفل هذا العمق المصدر الثاني وهو الطاقة الحرارية المنبعثة من باطن الأرض. وتبدأ هذه الطاقة فى الظهور أسفل عمق خط الحرارة الأرضى الثابت والذى تعادل درجة حرارته المتوسط السنوى لدرجة حرارة المكان على سطح الأرض. ففى باريس تبلغ درجة حرارة هذا الخط ١١,٢٣°م ويقع على عمق ٢٨ م، وهو متوسط درجة الحرارة السنوية لمدينة باريس، وفى موسكو تبلغ درجة حرارة هذا الخط ٤,٢°م ويقع على عمق ٢٠م.

وتأخذ درجة حرارة الأرض أسفل هذا الخط فى التزايد بتأثير التيارات الحرارية المنبعثة من باطن الأرض. ويبلغ معدل ارتفاع درجة الحرارة بالتعمق أسفل خط الحرارة الأرضى الثابت درجة مئوية واحدة لكل ٣٣م، أو ٣٠°م لكل كيلو متراً واحداً. ولكن يختلف هذا المعدل فى ارتفاع درجة الحرارة من منطقة

إلى أخرى، فقد يكون أكبر من المعدل السابق فى بعض المناطق وأقل منه فى مناطق أخرى. ففى جيبوتى بين بحيرة عسل وغابة الداى تصل درجة الحرارة إلى ٤٠٠°م عند عمق ١٥٠٠م، أى بمعدل درجة مئوية واحدة لكل ٣,٧٥م. وفى نابولى – جيب بركان فيزوف – تصل درجة الحرارة إلى ٨٠٠°م عند عمق ٢٥٠م، أى بمعدل درجة مئوية واحدة لكل ٠,٣١م. وقد ترتفع درجة الحرارة أولاً ثم يعقبها انخفاض مفاجئ كما هو الحال فى منطقة يانجان – تاو فى جنوب الاورال، إذ ترتفع درجة الحرارة بالتعمق أسفل خط الحرارة الأرضى الثابت وتصل إلى ٣٠٠°م عند عمق ٣٠٠م ثم تنخفض بعد ذلك. وتشير تلك البيانات إلى حقيقة أن لكل منطقة من مناطق سطح الأرض نظامها الحرارى الخاص ومعدل تغيره (جدول ٩).

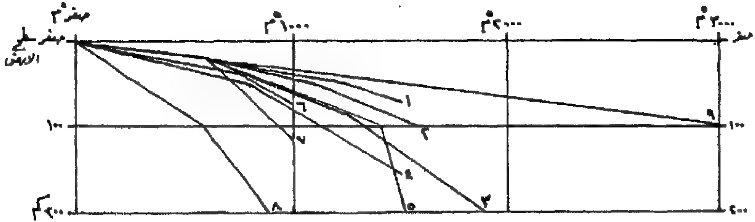
جدول (٩)

معدل التغير في درجة حرارة باطن الأرض أسفل خط الحرارة الأرضي الثابت في مناطق مختلفة

المنطقة	العمق بالمتر المقابل لارتفاع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة	معدل التزايد في درجة الحرارة لكل متراً واحداً	معدل التزايد في درجة الحرارة لكل كيلو متراً واحداً
جزيرة بورنيو (ساماريندا)	١٥,٨	٠,٠٦٣٢٣	٦٣,٢
ايطاليا (لارداريللو)	١٧,٥	٠,٠٥٧٠٠	٥٧,٠
اليابان (إيكيجو)	٢٢,٩	٠,٠٤٣٦٤	٤٣,٦
روسيا (الدونباس)	٣٢,٦	٠,٠٣٠٦٨	٣٠,٧
روسيا (بوريسوف)	٤١,٦	٠,٠٢٤٠٢	٢٤,٠
روسيا (خاركوف)	٥٨,٦	٠,٠١٧٠٦	١٧,١
تشيكيا (بريبرام)	٦٥,٨	٠,٠١٥٢٠	١٥,٢
كندا (أونتاريو)	٧٦,٨	٠,٠١٣٠٣	١٣,٠
الولايات المتحدة (روزويلد)	٨٧,١	٠,٠١١٤٨	١١,٥
الولايات المتحدة (جراس فالى)	١١٦,٣	٠,٠٠٨٦٠	٨,٦
كندا (أونتاريو)	١٢٢,٦	٠,٠٠٨١٧	٨,٢
الولايات المتحدة (ألبانى)	١٣٧,٨	٠,٠٠٧٢٥	٧,٣
الترنسفال بجنوب أفريقيا (ويتواترزراند)	١٧٢,٧	٠,٠٠٥٨٠	٥,٨

وبصفة عامة فإن المناطق الهادئة زلزالياً وحركـيـاً مثل الكتل الصلبة القديمة والدروع القاريـة. والأجـزاء من قـيعان المحيطات القـريبة مـن القشرة الصخرية القارية، فإن التزايد في درجة الحرارة أسفل خط الحرارة الأضى الثابت يكون ضعيفاً نسبياً. أما في المناطق النشطة زلزالياً وحركياً مثل المناطق القريبة من الصدوع الضخمة ومناطق الأخاديد – وخاصة أخدود البحر الأحمر – ووسط السلاسل المحيطية الوسطى. فإن معدل التزايد يكون عالياً نسبياً.

ويتـضح من الجـدول السابق أن معدل التزايد في درجـة الحـرارة بالتعمق في الأرض يتراح بين ٦°م/كم، ٦٠°م/كم تقريباً. ويبين (شكل ٢٥) منحنيات درجات حرارة الأرض حتى عمق ٢٠٠كم لدارسين مختلفين على أساس قيم التوصيلية الحرارية Heat Conductivity للصخور، وكمية الحرارة المشعة من باطن الأرض إلى الغلاف الغازي عبر سطحها. ويبين الخط

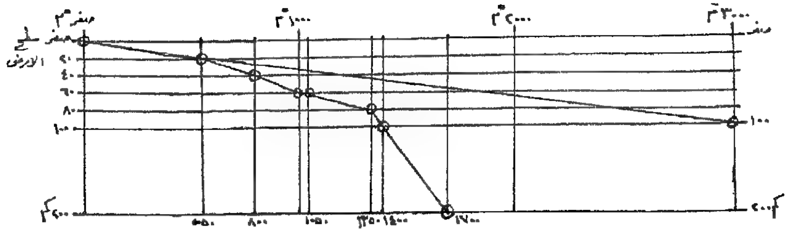


شكل (٢٥)

حرارة باطن الأرض حتى عمق ٢٠٠ كم من سطح الأرض

(1) F. Wolff; 2 - R. Baly; 3 - L. Adams , for sima rocks); 4 - L. Adams (for sialic rocks); 5 - B. Gutenberg; 6 - A. Fersman; 7 - B. Lichkow; 8 - H. Jeffreys.

المستقيم التزايد فى درجة الحرارة بمعدل ٣°م/ ١٠٠م، كما يبين الخط السميك منحنى معدل التزايد فى درجة حرارة باطن الأرض (متوسط منحنيات الباحثين) (شكل ٢٦).



شكل (٢٦)

المنحنى المتوسط لدرجة حرارة باطن الأرض حتى عمق ٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض

ويمكن ترجمة المنحنى المتوسط السابق لبيان قيم درجات الحرارة عند أعماق مختلفة من سطح الأرض حتى عمق ٢٠٠ كم فى (جدول ١٠).

جدول (١٠)

درجات حرارة باطن الأرض عند أعماق مختلفة

العمق / كم	صفر	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠	١٠٠	٢٠٠
درجة الحرارة/م°	صفر	٥٥٠	٨٠٠	١٠٥٠	١٣٥٠	١٤٠٠	١٧٠٠

ويبدو أن مصدر الحرارة لا يرتبط فقط بالاشعاع من نواج الأرض، إذ أن هناك مصدر آخر للحرارة هو العناصر المشعة Radioactive Elements. فقد لوحظ أن الغازات المتصاعدة فى بعض المناطق ملوثة بكمية ضئيلة من المواد

المشعة مثل اليورانيوم والراديوم والثوريوم والبوتاسيوم. وتطلق هذه العناصر طاقة حرارية عند تحللها إلى عناصر خاملة، وبالتالى ترفع درجة حرارة الصخور الحاوية لها حتى تصل بها إلى مرحلة الانصهار الجزئى فى المناطق الغنية بها من باطن الأرض. وتوجد هذه العناصر المشعة فى الصخور السيليكية كالجرانيت وتقل فى الصخور المافية وفوق المافية، كما أن تلك العناصر غير منتظمة التوزيع فى تلك الصخور. وعلى ذلك فإن القشرة القارية الأغنى بالصخور السيليكية هى الأعلى حرارياً من القشرة المحيطية. ولكن فى الواقع لا توجد فروق كبيرة بينهما، حيث تعوض التيارات الحرارية الصاعدة قيم الفروق فى العناصر المشعة بين القشرتين القارية والمحيطية. ونتيجة لذلك يلاحظ أن خط الحرارة المتساوى ١٥٠٠°م يقع تحت قيعان المحيطات على عمق ١٠٠كم بينما يقع تحت القارات عى عمق ٢٠٠كم.

ويبين شكل (٢٧) خطوط حرارة باطن الأرض حتى عمق ٢٠٠كم أسفل قطاع يمتد من ساحل المحيط الهادى عند كاليفورنيا غرباً إلى سهول المسيسبى شرقاً فى موازاة دائرة عرض ٣٨°ش. وتبين الخطوط قمماً حرارية ترتبط بالأقاليم الصخرية الغنية بالعناصر المشعة والتى وصلت إلى مرحلة الانصهار الجزئى ويرتبط بها على سطح الأرض زيادة فى مقدار الإشعاع الأرضى الذاتى، وسروجاً حرارية فى الأقاليم البينية. ويتراوح الفرق الحرارى بين القمم والسروج بين ٣٠٠°، ٤٠٠° كالفن فى الأعماق المختلفة.

وتقدر كمية الحرارة المتولدة من الصخور الحاوية للعناصر المشعة بحوالى ١٥ × ١٠^-٦ كالورى/سم٣/السنة. ويبين (جدول ١١) كمية العناصر المشعة فى الصخور النارية بالقشرة الأرضية وكمية الحرارة المتولدة منها.

شكل رقم (٢٧)

خطوط الحرارة في القشرة الأرضية ونطاق الاثينوسفير

(R. R. Roy et al, 1972 ،عن)

جدول (١١)

متوسط كمية العناصر المشعة في الصخور النارية وكمية الحرارة الناجمة عن تحللها الاشعاعي

الصخـــور	كمية العناصر المشعة				كمية الحرارة
	الراديـــوم جم/جم	اليورانيـوم جم/جم	الثوريـوم جم/جم	البوتاسيـوم سم/جم	كالوري/ سم٢ ث
الصخور السيليكية	$١,٣ \times ١٠^{-١٢}$	٤×١٠^{-٦}	١٣×١٠^{-٦}	$٢,٨ \times ١٠^{-٢}$	$٤,٣ \times ١٠^{-١٣}$
الصخـور المافيـة	$٠,٣ \times ١٠^{-١٢}$	$١,١ \times ١٠^{-٦}$	٤×١٠^{-٦}	$١,٤ \times ١٠^{-٢}$	$١,٦ \times ١٠^{-١٣}$
الصخور فوق المافية	؟	$٠,٦ \times ١٠^{-٦}$	٢×١٠^{-٦}	$٠,٤ \times ١٠^{-٢}$	$٠,٧ \times ١٠^{-١٣}$

يتضح مما سبق وجود مناطق شذوذ حرارى موجب ترجع إلى وجود العناصر المشعة فى الصخور بكميات غير متساوية وإلى عدم انتظام توزيع تلك الصخور فى الأرض، أما فى مناطق الفحم فإن الشذوذ الحرارى يرجع إلى عمليات تأكسد الكربون. ولكن لا يخضع هذا الشذوذ الحرارى فى المناطق المختلفة لأى نظام، ولا يمكن – فى ضوء الموقف العلمى الحالى – تصور نظام عام له لأنه معقد للغاية. وإذا كانت العناصر المشعة موزعة توزيعاً منتظماً فى الأرض لأصبح من المحتم أن تسخن الأرض بفعل تجمع الطاقة الحرارية المتولدة منها ولوصلت إلى مرحلة الانصهار منذ زمن بعيد. وكذلك إذا كان معدل ارتفاع درجة الحرارة بالتعمق فى باطن الأرض هو ٣°م/ ١٠٠م ثابتاً فإن درجة حرارة النواة يجب أن تصل إلى حوالى ٢٠٠ ألف درجة مئوية، وهذا مستحيل وإلا لانفجرت الأرض وتحولت إلى سحب غازية. ولذلك يرى كثير من الباحثين تعديل تلك القيمة، فيرى جوتنبرج أن درجة الحرارة تحت القشرة الأرضية لا تزيد عن ٤٠٠٠° – ٥٠٠٠°م (Gutenberg, B., 1951) ويرى آخرون أن درجة الحرارة ترتفع بشكل منتظم بازدياد التعمق فى الأرض، وأن أقصى درجة حرارة تبلغها هى ١٠ آلاف درجة مئوية.

ونتيجة عدم انتظام توزيع العناصر المشعة فى الأرض، فإنه يمكن افتراض وجود مناطق نهايات صغرى ومناطق نهايات عظمى لدرجات الحرارة فى

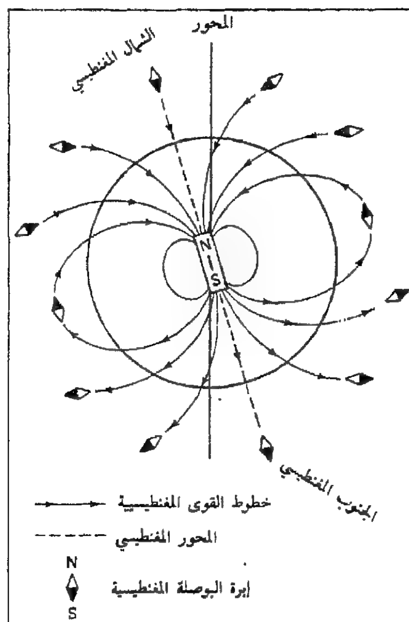
باطن الأرض كما هو الحال فى الغلاف الجوى، وقد تبلغ درجة الحرارة فى بعض المناطق الصفر المطلق (٢٧٣°م تحت الصفر) أو بالقرب منه. ومن المعروف أنه عند درجة حرارة الصفر المطلق تنشأ ظاهرة فوق السيولة التى عندها تبدأ الصخور بصورة مفاجئة اكتساب خواص جديدة لا يمكن اكتسابها فى ظل ظروف درجات الحرارة العادية. وإذا كان ذلك صحيحاً فإننا يمكن تعليل سيولة النواة الخارجية بانخفاض درجة الحرارة حتى الصفر المطلق عندها. وبالتالى فإن مناطق الشذوذ الموجبة قاصرة على القشرة الأرضية، وإن الارتفاع فى درجة الحرارة بالتعمق يقف عند عمق معين ثم تأخذ درجة الحرارة فى الانخفاض بعد ذلك بالتعمق حتى تصل إلى الصفر المطلق.

ومن ناحية أخرى فإن مغناطيسية الأرض ترجع إلى وجود النواة التى تتكون من حديد ونيكل بنسبة ٨٠٪ وسيليكون بنسبة ٢٠٪. فإذا كان باطن الأرض ملتهب، فإن الحديد يفقد خواصه المغناطيسية عند «نقطة كورى» وهى النقطة التى تصل درجة الحرارة عندها إلى ٧٦٠°م، وهذا يعنى أن درجة الحرارة فى باطن الأرض لابد وأن تكون أقل من ٧٦٠°م. ويمكن التوفيق بين فكرة وجود النواة الحديدية ودرجات الحرارة العالية فى باطن الأرض، إذ أثبتت التجارب الحديثة أن «نقطة كورى» تتأثر بالضغط. ففى وجود ضغط يبلغ ٣٠٠٠ كيلو بار تصل «نقطة كورى» إلى حوالى ٤٢٤٠°م، وهذا يعنى أن باطن الأرض الحديدى يمكن أن تصل درجة حرارته إلى أقل من ٤٢٤٠°م بقليل ويحتفظ فى نفس الوقت بخاصيته المغناطيسية ولا يرتفع عنها. فهل باطن الأرض حار ملتهب أم بارد شديد البرودة؟.

خامساً: مغناطيسية الأرض

تشير الابرة المغناطيسية إلى القطب الشمالى المغناطيسى للأرض، وتسمى الزاوية المحصورة بين اتجاه البوصلة واتجاه الشمالى الجغرافى بزاوية الاختلاف المغناطيسى وعند توصيل النقط التى تتساوى عندها زاوية الاختلاف المغناطيسى فإن الخطوط الناتجة تسمى بخطوط الزوال المغناطيسى، كما يمكن فى نفس الوقت تعيين المجال المغناطيسى للأرض. وتأخذ الابرة المغناطيسية الوضع الأفقى فى المناطق القريبة من دائرة الاستواء المغناطيسى، كما تتخذ الوضع العمودى عند القطبين المغناطيسيين، أما فيما بين الاستواء والقطب فإن

الابرة تتخذ زوايا ميل مختلفة بالنسبة للمستوى الأفقى. وعند توصيل النقط التى تتساوى عندها قيمة زاوية ميل الابرة المغناطيسية، فإن الخطوط الناتجة تكاد تنطبق على دوائر العرض، وهذه القيم تميز المجال المغناطـيسى للأرض شـكل (٢٨).



شكل رقم (٢٨)

الحقل المغناطيسي للأرض وهو مثل الحقل المغناطيسي لبوصلة ثنائية الاستقطاب

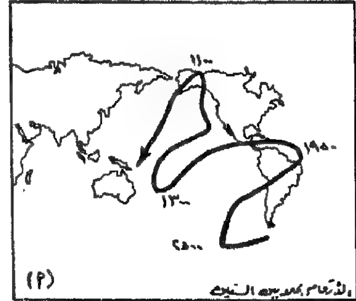
ويمثل الخط الذى يصل بين القطبين المغناطيسيين المحور المغناطيسى للأرض، وهذا الخط لا يمر بمركز الأرض بل يمر على مسافة ١٢٠٠ كم من مركزها (E. C. Bullard, 1988) وبالتالى يمكن القول أنه إذا كان المجال المغناطيسى للأرض ناجماً عن وجود نواة حديدية بداخلها فإن تلك النواة يجب

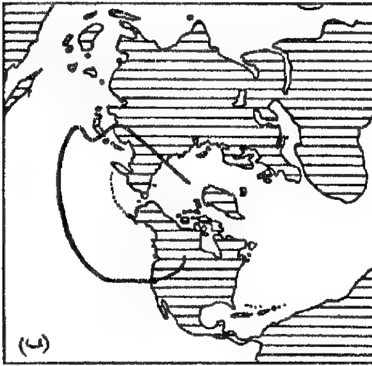
أن تكون بعيدة عن مركزها أي قريبة إلى السطح، وهذا يتعارض مع نتائج دراسة الموجات الزلزالية. ويعني ذلك إما أنه لا وجود للحديد والنيكل في النواة، وأن النواة تتكون من مواد أخرى - وهذا يتعارض أيضاً مع نتائج دراسات تكوين الأرض القائمة على نتائج دراسة الموجات الزلزالية، أو أن المجال المغناطيسي للأرض ليس نتيجة لوجود الحديد في نواة الأرض. ويلاحظ في مناطق كثيرة في العالم وجود مناطق شذوذ مغناطيسي شديدة ومناطق شذوذ ضعيفة نسبياً في المجال المغناطيسي، ويعلل هذا الشذوذ بتواجد رواسب حديدية ضخمة في باطن الأرض.

وهناك تغيرات دورية قصيرة في المجال المغناطيسي للأرض يومية وسنوية، وتغيرات أكثر تعقيداً تعرف بالدورات القرنية، وتغيرات تستغرق حقب چيولوچي كامل. وعند دراسة التغيرات القصيرة اليومية لوحظ وجود ارتباط بينها وبين ما يحدث على سطح الشمس من انفجارات تبلغ من القوة أحياناً بحيث تسبب عواصف مغناطيسية تحيط بالأرض وتؤثر على سرعة دورانها حول محورها(*). أما التغيرات التي تستغرق عصوراً چيولوچية فقد أمكن التعرف عليها عن طريق تعيين خط الزوال المغناطيسي الذي يعكس طبيعة المجال المغناطيسي للأرض في العصور الچيولوچية القديمة. فعن طريق دراسة المغناطيسية الأرضية المتبقية Residual Geomagnitic أي عن طريق دراسة اتجاه اصطفاف ذرات وجزئيات الحديد المغناطيسي في الطفوح البركانية القديمة، وفي الصخور الرسوبية التي تكونت من تصخر المفتتات المجروفة من

(*) حدث في ٢٣ فبراير ١٩٥٦ انفجار هائل في الشمس يعادل قوة انفجار مليون قنبلة هيدروچينية، أدت إلى حدوث عاصفة مغناطيسية شديدة أحاطت بالأرض. وقد أدت تلك العاصفة إلى انخفاض في سرعة دوران الأرض حول نفسها قدرته المراصد بـ $\frac{١}{١٠٠,٠٠٠}$ من الثانية. ويعتبر هذا المقدار كبيراً جداً بالنسبة للحركة الميكانيكية الدقيقة التي تخضع لها الأجرام السماوية (Malakhov, 1968).

الصخور البركانية القديمة، أمكن تحديد موقع القطب الشمالى المغناطيسى بكل دقة. فمنذ ألف وخمسمائة مليون سنة كان يحتل القطب المغناطيسى الشمالى منطقة بحيرات كندا، ثم أخذ ينتقل فى إتجاه موازى لدوائر العرض نحو الغرب واحتل موقعاً مقابلاً لساحل كاليفورنيا منذ ستمائة مليون سنة، ثم تحرك نحو جزر هاواى، ثم اتجه نحو الشمال إلى الساحل الشمالى الشرقى لقارة آسيا منذ زمن يتراوح بين ٢٠٠، ٣٠٠ مليون سنة. ومنذ مائة مليون سنة كان يحتل منطقة مضيق برنج، ثم استمر فى رحلته حتى استقر أخيراً فى المكان الذى يحتله الآن (S. K. Ryncorn, 1962) (شكل ٢٩).





شكل رقم (٢٩)

(أ) القطب المغناطيسي الجوال في الزمن الاركي.

(ب) القطب المغناطيسي الجوال منذ ١٥٠٠ مليون سنة حتى الآن.

وعند دراسة هذه الرحلة يلاحظ أن خطوط الزوال المغناطيسي لم تكن تتلاقى فى نقطة واحدة. وهذا يعنى أنه كان يوجد عدة أقطاب مغناطيسية فى الحقب الچيولوچى الواحد وهذا مستحيل. ولكن عند قبول نظرية فجنر A.Wegner فى زحزحة القارات، فإن خطوط الزوال المغناطيسي لكل عصر من العصور الچيولوچية سوف تتلاقى فى نقطة واحدة. ولذلك عندما يقوم علماء المغناطيسية القديمة بدراسة مواقع خطوط الزوال المغناطيسي القديمة، فانهم يدخلون تصحيح على القراءات يعرف بتصحيح فجنر.

وفى العقود الثلاثة الماضية بعد اطلاق سفن الفضاء والحصول على بيانات خاصة بالكواكب المجاورة للأرض كالقمر والزهرة، والمريخ، أصبح واضحاً أن الأرض تملك أقوى مجال مغناطيسي، ويمتد إلى عشرات الآلاف من الكيلو مترات. وأصبح مؤكداً وجود غلاف آخر يضاف إلى أغلفة الأرض هو الغلاف المغناطيسي، وهو عبارة عن خطوط قوى مغناطيسية تغلف الأرض. ويبدو أن القمر لا يملك أى مجال مغناطيسي وأيضاً المريخ ويمكن تعليل ذلك بضآلة كتلة كل منهما(*) . وكذلك لم تكتشف سفينة الفضاء الأمريكية «مارينر ٢» التى أطلقت عام ١٩٦٢ إلى كوكب الزهرة أى مجال مغناطيسي له. فإذا كانت كتلة الزهرة تقارب كتلة الأرض(**) فلماذا يوجد مجال مغناطيسي للأرض ولا يوجد مجال مغناطيسي لكوكب الزهرة؟ وهذا يعنى أن المجال المغناطيسي لا يتوقف فقط على الكتلة. وقد اكتشف حديثاً أنه أثناء دوران الأرض السريع حول محورها فى المجال المغناطيسي للشمس يتولد تيار كهربائى ذو قوة هائلة، وقد يكون هذا التيار الكهربائى هو الذى يولد المجال المغناطيسي للأرض، إذ لا يوجد مجال مغناطيسي لجيراننا القريبين من كواكب المجموعة الشمسية، فالقمر والزهرة يدوران حول محوريهما ببطء شديد(***) .

(*) كتلة المريخ تعادل ١١ ٪ من كتلة الأرض.

(**) كتلة كوكب الزهرة تعادل ٨٢ ٪ من كتلة الأرض.

(***) مدة دوران الزهرة حول محورها = ٢٤٤ يوماً أرضياً.

والخلاصة أنه يوجد عدد من مصادر القوى التى تتحكم فى المجال المغناطيسي للأرض. أولها يوجد فى القشرة الأرضية والجزء العلوى من الوشاح ويرتبط بتجمعات الصخور التى لها خواص مغناطيسية مختلفة ضعيفة كانت أو قوية. ومصدر آخر فى الغلاف الجوى، وثالث فى الشمس ورابع من التيار الكهربائى الناجم عن سرعة دوران الأرض حول محورها فى المجال المغناطيسي للشمس. وهكذا فإن المجال المغناطيسى للأرض لا ينشأ فقط نتيجة وجود نواة الحديد والنيكل والسيليكون.

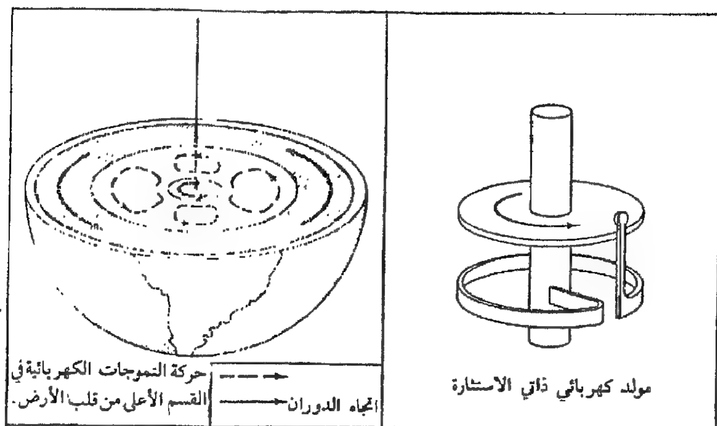
وهناك تيارات كهربائية تسرى فى الأرض لها ارتباط واضح بالعواصف المغناطيسية وتسمي بالتيارات الشاردة التى تخترق كل من اليابس والماء. وتتأثر تلك التيارات بطبيعة الصخور التى قد تكون موصلة جيدة للتيار الكهربائى أو على العكس رديئة التوصيل. وإذا كانت توجد على أعماق كبيرة من سطح الأرض درجة حرارة سالبة تقترب إلى الصفر المطلق، فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار ظاهرة فوق التوصيلية Super Conductivity التى تنشأ فى الصخور عند درجة الحرارة المنخفضة. فالتيارات الكهربائية التى سوف تمر بهذه الصخور سوف تدور فى اتجاه واحد مكونة ملفاً كهربائياً كبيراً. كما أن التيار هائل القوة المتولد عن حركة الأرض فى المجال المغناطيسي للشمس يشير إلى أن الأرض عبارة عن مولد كهربائى Dynamo ضخم. ويفسر وجود هذا الملف الكهربائى عدم مركزية النواة المغناطيسية للأرض (ابتعاد المحور المغناطيسى عن مركز الأرض بحوالى ١٢٠٠ كم). كما أن وجود المولد الكهربائى لابد وأن يغير من قيمة التيار المتولد نتيجة لتأثير هذا العامل أو ذاك عليه حتى يحدث هذا التغيير فى المجال المغناطيسى للأرض. وقد لا يكون انحراف أو ميل الابرة المغناطيسية هما الظاهرتان اللتان ترتبطان فقط بهذا المولد الكهربائى الأرض، ولكن هناك سلسلة متكاملة من الظواهر المختلفة (الشفق القطبى مثلاً) . وعند افتراض وجود أكثر من ملف كهربائى واحد نتيجة وجود مناطق درجات الحرارة المنخفضة منعزلة عن بعضها، فإن مناطق

الشذوذ المغناطيسى الشديد تنشأ نتيجة لوجود التيارات الكهربائية الدائرية فى تلك المناطق، ولا يكون منشؤها نتيجة وجود رواسب حديدية، وإلا كان من الصعب فهم أسباب انتقال مراكز هذا الشذوذ من مكان لآخر ومن فترة زمنية لأخرى.

ويتفق الفرض بوجود مولد كهربائى فى باطن الأرض مع حقيقة وجود نواة الأرض الخارجية فى حالة مائعة، كما يتفق مع وجود الطبقة شبه المنصهرة (طبقة الريوسفير) التى تقع على عمق بين ١٥٠ ، ٢٠٠ كم من سطح الأرض، كما تؤكده الحالة التى عليها الصخور – حالة فوق السيولة – عند درجات الحرارة المنخفضة جداً. وفى نفس الوقت لا يمكن تجاهل التفاعلات الكهروكيميائية التى تحدث نتيجة لمرور التيارات الكهربائية فى الصخور المختلفة، ولكن حتى الآن لم تدرس طبيعة تلك التفاعلات بشكل كاف.

وقد أوضح الساسير W. Elsasser أن الأرض وهى تعمل كمولد كهربائى بحيث يمكنها توليد تيارات كهربائية مما يؤدى إلى تفاعل كيميائى لمواد الوشاح العلوى – على الأقل – يعمل كما تعمل البطارية Battery تنتج شحنة كهربائية ضعيفة، إلا أن حركة التيار الكهربائى فى النواة الخارجية المائعة تعمل على تقوية الشحنة الكهربائية للأرض. وعلى ذلك فإن هذا المولد ينبغى أن يكون من النوع ذاتى الاستثارة Self-Exciting Dynamo.

ويوضح الشـكل رقم (٣٠) الحراكة النسبية للتيارات الكهربائية فى الأرض.



شكل رقم (٣٠)

الحركة النسبية بين الوشاح ونوية الأرض الداخلية

وينتج عنها تكوين تيارات كهربائية أشبه بتلك التي تتكون من مولد ذاتي

الاستثارة (علي يمين الشكل)

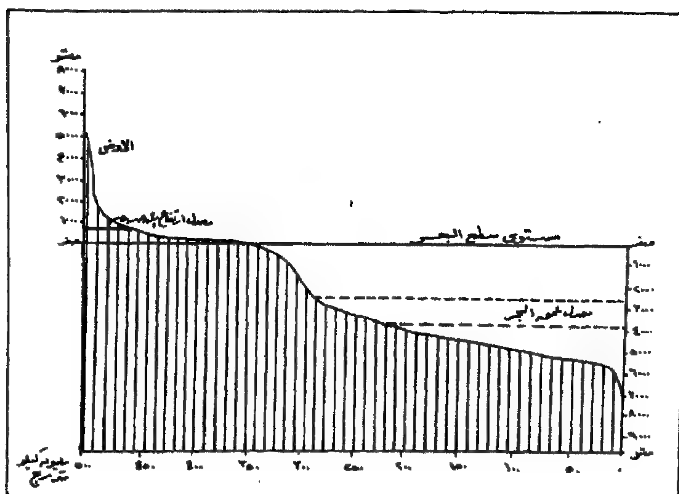
سادساً: توازن القشرة الأرضية

قشرة الأرض هى الطبقة العليا من الكرة الأرضية التى ترتكز على باطن الأرض، ويتنازعها ويؤثر فيها قوى مختلفة بعضها ناتج من جذب باطن الأرض، والآخر ناتج عن القوة الطاردة المركزية الناجمة عن دوران الأرض حول محورها التى تدفعها إلى الخارج، والثالث جذب الشمس والقمر لها وهى من الضعف بحيث لا تؤثر إلا على الغلاف المائى للأرض بشكل ملحوظ.

وتدفع قوة الجذب بأجزاء القشرة إلى الداخل نحو مركز الأرض، بينما تعمل قوة الطرد المركزية على قذفها إلى الخارج بعيداً عن المركز، وبقاء القشرة على ما هى عليه الآن مرتكزة على الباطن هو نتيجة التنازع بين هاتين القوتين

بدرجة معينة وثباتها عند هذه الدرجة، فإن تغيرت وازدادت قوة الجذب على حساب قوة الطرد المركزية فإن الأرض تندمج أكثر مما هى عليه ويصغر نصف قطرها، وإن حدث العكس فإنها تتمدد ويزداد طول نصف قطرها.

وتتأثر قشرة الأرض بقوى الضغط والشد والتزحزح وينتج عنها التواءات تعمل على رفع جهات على شكل جبال وخفض جهات أخرى على شكل أودية وأخاديد وأحواض. وتتوازن تلك القوى مع بعضها بفعل دوران الأرض حول محورها، هذا الدوران الذى لا يسمح لغير الشكل الكروى بديلاً للأرض، ولذلك فلا ترتفع الأراضى ارتفاعاً مطلقاً ولا هى تنخفض انخفاضاً غير محدود، مما يدعو إلى دراسة مقدار الارتفاع الذى عليه القارات والجبال الآن ومقدار الانخفاض فى قيعان الأحواض البحرية والمحيطية وهو ما يعرف بتحليل المنحنى الهبسومترى لسطح الأرض سواء ما يقع منه فوق متوسط منسوب سطح البحر أو ما ينخفض دونه (شكل ٣١).



شكل رقم (٢١)

المنحني الهبسومتري لسطح القشرة الأرضية

جدول رقم (١٢)
النسبة المئوية والمساحة
لفئات مناسيب سطح القشرة الأرضية (كوسينا ١٩٢١)

المنسوب	المساحة/ مليون كم٢	النسبة المئوية	النسبة المئوية التجميعية
١- اليابس:			
أعلى من ٥٠٠٠م	٠,٥٠	٠,١٠٪	٠,١٠
٤٠٠٠ – ٥٠٠٠	٢,٥٠	٠,٥٠	٠,٦٠
٣٠٠٠ – ٤٠٠٠	٣,٠٠	٠,٦٠	١,٢٠
٢٠٠٠ – ٣٠٠٠	١٠,٠٠	٢,٠٠	٣,٢٠
١٠٠٠ – ٢٠٠٠	٢٤,٠٠	٤,٧٠	٧,٩٠
٥٠٠ – ١٠٠٠	٢٧,٠٠	٥,٣٠	١٣,٢٠
٢٠٠ – ٥٠٠	٣٣,٠٠	٦,٥٠	١٩,٧٠
صفر – ٢٠٠	٤٨,٠٠	٩,٤٠	٢٩,١٠
الإجمالي	١٤٨,٠٠	٢٩,١٠	
٢- الماء:			
صفر – ٢٠٠ تحت سطح البحر	٢٨,٥٠	٥,٦٠٪	٣٤,٧٠
٢٠٠ – ١٠٠٠ " ""	١٥,٥٠	٣,٠٠	٣٧,٧٠
١٠٠٠ – ٢٠٠٠ " ""	١٥,٠٠	٢,٩٠	٤٠,٦٠
٢٠٠٠ – ٣٠٠٠ " ""	٢٤,٥٠	٤,٨٠	٤٥,٤٠
٣٠٠٠ – ٤٠٠٠ " ""	٧١,٠٠	١٣,٩٠	٥٩,٣٠
٤٠٠٠ – ٥٠٠٠ " ""	١١٩,٠٠	٢٣,٣٠	٨٢,٦٠
٥٠٠٠ – ٦٠٠٠ " ""	٨٤,٠٠	١٦,٥٠	٩٩,١٠
أعمق من ٦٠٠٠ " ""	٤,٥٠	٠,٩٠	١٠٠,٠٠
الإجمالي	٣٦٢,٠٠	٧٠,٩٠	

وقد قام فاجنر عام ١٩١٢ بدراسة هذا المنحنى ولكن دراسته كانت قاصرة إلى حد ما لأن التقدم فى طرق وأساليب سبر أغوار البحار والمحيطات وكذلك التقدم فى الدراسات الأوقيانوغرافية كان مازال فى المهد. وقد تمكن العلماء فيما بعد من دراسة تضاريس قاع البحر والمحيط ورسم خرائط له، وتمكن كوسينا عام ١٩٢١ من التوصل إلى جدول يبين اختلاف مناسيب سطح القشرة الأرضية يتفق مع الواقع إلى حد بعيد.

ويتضح من الجدول السابق الحقائق التالية بالنسبة لليابس :

١- تقع نسبة كبيرة من سطح الأرض قدرها ٢١,٢ ٪ ومساحتها ١٠٨ مليون كيلو متراً مربعاً على منسوب يتراوح بين مستوى متوسط منسوب السطح البحر (مستوى الصفر)، ١٠٠٠م فوق مستوى سطح البحر. وتبلغ نسبة مساحة تلك الأراضى ٧٣ ٪ تقريباً من مساحة اليابس.

٢- تقع مساحة كبيرة من سطح الأرض تبلغ ٤٨ مليون كيلو متراً مربعاً بنسبة ٩,٤ ٪ على منسوب يتراوح بين مستوى الصفر، ٢٠٠م فوق مستوى سطح البحر. وتبلغ نسبة تلك الأراضى ٣٢,٤ ٪ تقريباً من مساحة اليابس.

٣- لا تتعدى مساحة الأراضى التى يتراوح منسوبها بين ١٠٠٠، ٣٠٠٠م فوق مستوى سطح البحر ٣٤ مليون كيلو متراً مربعاً بنسبة ٦,٧ ٪ من مساحة سطح الكرة الأرضية، وبنسبة ٢٣ ٪ من مساحة اليابس.

٤- تبلغ مساحة الأراضى التى يزيد ارتفاعها عن ٣٠٠٠م فوق مستوى سطح البحر ٦ مليون كيلو متراً مربعاً بنسبة ١,٢ ٪ من مساحة الكرة الأرضية، وبنسبة ٤ ٪ من مساحة اليابس.

وبناء على التلخيص السابق يمكن تقسيم سطح اليابس إلى ثلاثة مستويات هى: مستوى السهول ويقع بين منسوب الصفر ومنسوب ١٠٠٠م فوق مستوى سطح البحر، ومستوى الهضاب ويقع بين منسوبى ١٠٠٠، ٣٠٠٠م، ومستوى الجبال ويقع أعلى من ٣٠٠٠م فوق مستوى سطح البحر.

أما بالنسبة للماء فيتضح أن :

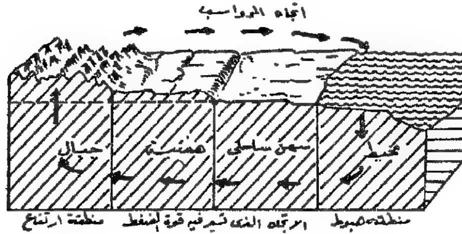
٥- تقع أعلى نسبة من مساحة الماء على عمق يتراوح بين ٤٠٠٠، ٥٠٠٠م تحت مستوى سطح البحر، وتبلغ مساحتها ١١٩ مليون كيلو متراً مربعاً بنسبة ٢٣,٣٪ من مساحة سطح الكرة الأرضية، وبنسبة ٣٢,٨٧٪ من مساحة الماء.

٦- يبلغ متوسط منسوب سطح القشرة الأرضية ٢٤٤٠م تحت مستوى سطح البحر، أي عند افتراض أن سطح الكرة الأرضية على منسوب واحد ليست به ارتفاعات أو انخفاضات فإن الماء سوف يغطيها تماماً.

ويمكن تقسيم قاع البحر والمحيط إلى أربعة مستويات هي: مستوى الرفارف القارية ويضم كل أجزاء القارات المغمورة بالماء ويقع بين مستوى الصفر ومنسوب ٢٠٠م تحت مستوى سطح البحر. ومستوى المنحدر القاري ويقع بين منسوبي ٢٠٠م، ٢٤٤٠م تحت مستوى سطح البحر، ومستوى قاع المحيط ويبلغ متوسط عمقه نحو ٦٢٧٠م تحت مستوى سطح البحر، ويفصل مستوى المنحدر القاري مستوى الرفارف القارية ومستوى قاع المحيط، والمستوى الأخير هو مستوى الأعماق السحيقة ومنسوبها أعمق من ٦٢٧٠م.

وتتأثر هذه الأبعاد بطبيعة الصخور التي تتكون منها القشرة الأرضية، فالمناطق ذات الصخور منخفضة الكثافة تكون مرتفعة، والأجزاء التي تتكون من صخور ذات كثافة أعلى تكون منخفضة. وعند مقارنة مناطق القشرة الأرضية التي تشغلها القارات وهي مناطق مرتفعة بالمناطق التي تشغلها المحيطات وهي مناطق منخفضة نلاحظ أن قيعان المحيطات تتكون من صخور ذات كثافة أعلى من الصخور التي تتكون منها القارات. وبصفة عامة فإن القارات تتكون من صخور سليكية منخفضة الكثافة (سيال)، وقيعان المحيطات تتكون من صخور مافية ذات كثافة أعلى (سيما)، ولكي تحتفظ كتل القارات السيالية الخفيفة بتوازنها فوق الصخور المافية الثقيلة أثناء دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس فإن جزءاً كبيراً من كتل القارات يتعمق وينغرز في الصخور المافية. ويبلغ الجزء المنغرز في الصخور المافية خمسة أمثال الجزء الظاهر أو أكثر.

وكان داتون عام ١٨٨٩ أول من أشار إلى هذه الحقيقة وذكر أنه إذا كانت القشرة الأرضية تتكون من مادة صخرية متجانسة لكانت شبه كرة تامة الانتظام ولكانت مغطاة بمياه محيط يغمرها كلها، أما وأنها تتكون من مواد صخرية غير متجانسة وكانت بعض أجزائها أعلى كثافة من الأجزاء الأخرى، فإن الأجزاء الخفيفة تتجه نحو الارتفاع والأجزاء الثقيلة الأعلى كثافة تغوص إلى أسفل. وقد اقترح تسمية شروط الاتزان التى بموجبها يتخذ سطح القشرة الأرضية – تحت تأثير قوى الجذب والطرد المركزى – الشكل الذى هو عليه الآن اسم Isostacy ومعناها حالة توازن أو ثبات Equipoise أى أن القشرة الأرضية متوازنة فوق ما تحتها من مواد (شكل ٣٢).



شكل رقم (٣٢)

الموازنة بين الجبال والبحار، فكلما أزيل من الجبال بعض من مادتها بفعل عوامل التعرية والتفتت وخف وزنها، فإن الأرض التي ترتكز عليها تأخذ في الارتفاع. وإذا تأخذ المادة المزالة من الجبال في التراكم من البحار الضحلة بالقرب من الشواطئ فإن قاع البحر يأخذ في الانخفاض. وهذه هي حالة التوازن التي أطلق عليها داتون مصطلح Isostasy

وقد أشار هايفورد إلى أنه عند عمق لا يزيد عن ١٠٠ كيلو متراً يوجد مستوى تتلاشى فيه الاختلافات الجوهرية فى كثافة الصخور المافية (السيما)، وتطفو فوقه الكتل القارية السيالية الخفيفة مختلفة الكثافة أطلق عليه اسم مستوى التوازن Isostacy Level، وأن كثافة كتل السيال فوق هذا المستوى تتناسب تناسباً عكسياً مع ارتفاعها. ولكى يوضح تلك الفكرة افترض وجود كتل من القشرة الأرضية على شكل أعمدة متساوية فى أطوال قواعدها ومختلفة فى ارتفاعاتها تمتد حتى تصل إلى مستوى التوازن (شكل ٣٣). ويبين الشكل أن الوزن (الثقل) على الخط الذى يمثل مستوى التوازن (Xy) يكون متساوياً عند أى مساحات مهما اختلف ارتفاعها. فالمساحات التى تمثلها الأعمدة ١ و ٢ و٣ و ٤ متساوية فى الوزن أو الثقل على الرغم من اختلاف ارتفاعها. فالعمود ٢ يمثل منطقة سهلية تتكون من طبقة رقيقة من صخور السيال الخفيفة لذا فإنها تتعادل مع طبقة أسمك من السيما الثقيلة، بينما العمود ٣ الذى يمثل منطقة جبلية تتكون من مواد خفيفة على شكل طبقة سميكة من السيال، لذا فإنها تتعادل مع طبقة رقيقة نسبياً من السيما الثقيلة. أما العمودان ١ و ٤ فيمثلان مناطق لا تحتوى على مواد سيالية خفيفة ويتكونان من مواد مافية ثقيلة لذا فإن وزن وثقل مياه المحيط فيما تتعادل مع طبقة السيما، أى يتعادل هذا الثقل فى العمودين ١ و ٤ مع وزن وثقل السيال والسيما فى العمودين ٢ و٣ فوق مستوى التوازن Xy. وإذا تحقق هذا التعادل فإن الأعمدة (المناطق) الأربعة تكون فى حالة توازن مع بعضها البعض. وهذا يعنى أن كثافة تلك الأعمدة تتناسب تناسباً عكسياً مع ارتفاعاتها. فالأعمدة القصيرة ذات الحجم الأقل تتكون من مواد ذات كثافة أعلى، والأعمدة الطويلة ذات الحجم الأكبر تتكون من مواد ذات كثافة أقل وذلك حتى تصير كلها ذات وزن متساوى على مستوى التوازن الايزوستاتيكى.

شكل رقم (٣٣)

توازن القشرة الأرضية حسب رأي هايفورد

وقد عارض كل من برات Pratt وإيرى Airy فكرة مستوى التوازن الذى يقع على أعماق متساوية تقريباً بالنسبة لمختلف حجم الكتل القارية السيالية التى تطفو فوقه أى أنه يتميز باستقامته، وأشارا إلى أن كتل القارات تتكون من قشرة جرانيتية متشابهة فى كثافتها، وأن الأشكال التضاريسية فوقها تدل على اختلاف سمكها، فالجهات المرتفعة عبارة عن مناطق يعظم فيها سمك القشرة الجرانيتية، بينما تحتوى قيعان المحيطات على سمك رقيق منها. وتبعاً لذلك لا يتحتم أن يكون العمق الذى تصل إليه كتل القارات الجرانيتية السيالية المختلفة السمك فى طبقة الصخور المافية (السيما) متساوياً بل مختلفاً بين ارتفاع وانخفاض (شكل ٣٤).

شكل رقم (٣٤)

توازن القشرة الأرضية حسب رأي كل من برات وايرى

(تساوي في الكثافة واختلاف في الحجم ومن ثم يؤدي إلى اختلاف في الوزن)

وهكذا فإن للقارات والجبال والهضاب فوقها لها جذور عميقة كأنها أوتاد تنغرز في باطن الأرض حتى تكون هناك دائماً حالة توازن استاتيكى. وليس من المحتم أن تقع جذور الجبال تحت أعالى قممها الشاهقة ذلك لأن موقع الجبال قد يتغير ويتشكل بمرور الزمن. فجذور جبال البرانس على سبيل المثال توجد فى القسم الجنوبى من خليج بسكاى وأسفل مرتفعات شمال شبه جزيرة أيبريا.

وهنا يبرز تساؤل ماذا يحدث لسطح الأرض عندما يصيبه التغيير، عندما تزيل عوامل التعرية المادة الصخرية من المناطق المرتفعة وتلقى بها على شكل رواسب في المناطق المنخفضة. إنه بتوالى هذه العمليات فإننا نتوقع أن سطح الأرض ينبغي أن يكون مستوياً على منسوب واحد أو متقارب خاصة وأن عوامل التعرية قديمة قدم الأرض نفسها منذ أن تكوّن غلافها الصخرى وغلافها الجوى. بمعنى أن المناطق المرتفعة قد أزالتها عوامل التعرية وألقت بمادتها الصخرية فى المناطق المنخفضة (البحار) فانخفضت الأولى وارتفعت الثانية حتى أصبحتا على منسوب واحد، وعندئذ تختفى عوامل التعرية لعدم وجود مناطق مرتفعة تنحت فيها.

الواقع أنه عندما تترسب طبقات صخرية فى أحواض الترسيب منقولة بعوامل النقل المختلفة فإن قاع حوض الترسيب يغوص إلى أسفل بسبب وزن تلك الارسابات. وهناك شواهد عديدة على ذلك، فجبال الأبلاش مثلاً والتى يتراوح سمك طبقاتها بين ١٥٠٠٠، ٢٠٠٠٠ قدم قد ترسبت في مياه ضحلة ربما لم يكن عمقها يزيد عن بضعة مئات من الأقدام، فعلامات التموج على الصخور (نيم الموج Wave Ripple) وبقايا القشريات المائية العديد التى لا تعيش إلا فى المياه الضحلة تشهد بذلك. ويقول داتون: «يبدو أننا نجد هنا (يقصد جبال الابلاش) برهاناً قاطعاً على أن كتلة الطبقات كلها كانت تهبط بنفس المعدل الذى كانت تترسب به الطبقات فوق السطح. وباختصار يمكن أن نضع قاعدة عامة وهى أنه فى الأماكن التى تترسب فيها مقادير كبيرة من المادة على

مساحة واسعة فإن هذا الترسيب كان يصحبه انخفاض فى الكتلة كلها». ثم أضاف إلى هذه الحقيقة حقيقة أخرى هى: «انه كلما أزالت عوامل تعرية شديدة مقادير كبيرة من مادة الجبال فإن النقص فى ارتفاعها يعوّضه ارتفاع فى الأرصفة التى تقع عليها تلك الجبال». أى أن الطبقات المضغوطة تحت وطأة ثقلها وثقل ما ترسب فوقها تؤدى إلى زيادة الضغط الواقع على طبقة السيما، ويترتب على ذلك انسياب السيما وتحركها وانتقالها فى اتجاه المنطقة التى خف ثقلها أى تجاه المقاومة الصغرى ومن ثم تتعرض الأرصفة التى تقع عليها المرتفعات التى استطاعت عوامل التعرية إزالة مادتها لفعل حركات الرفع التكتونى، وتحدث إعادة للتوازن الأيزوستاتيكى للقشرة الأرضية. ولكن يجب ملاحظة أن عملية التوازن هذه لا تحدث فى وقت قصير، وإنما تتم خلال فترة زمنية طويلة، كما أن مقدار الارتفاع الذى يصيب سطح الأرض لا يساوى سمك الطبقات التى أزالتها عوامل التعرية، ويرجع ذلك إلى اختلاف كثافة الطبقات العليا عن السفلى.

ومن الأدلة والبراهين التى تؤيد ظاهرة التوازن ما حدث فى الجهات الشمالية من قارتى أوربا وأمريكا الشمالية التى تغطت بالجليد فى الادوار الجليدية البليستوسينية، إذ هبطت القشرة الأرضية تحت ضغط تراكم الجليد فوق تلك الجهات بسمك يقدر المتوسط بـ ٣٠٠٠م، وبعد ما انصهر الجليد وقبل أن تعود الأرض إلى مستواها الأول طغت عليها مياه المحيط المجاور لأن منسوبها كان منخفضاً عن منسوب سطح تلك المياه، ولكن هذه المياه عادت فانحسرت عن الأرض تبعاً لارتفاعها البطئ بعد أن تلاشى عنها ضغط الجليد. وترتفع الأرض إلى الشمال من خليج بوثنيا بمعدل سنتيمتراً واحداً كل سنة، وبمعدل ٠,٥ سم عند عرض ستوكهولم. كما تشير خطوط الشواطئ المرتفعة المطلة على البحر البلطى إلى ذلك. إذ يتعرض البحر البلطى الغربى إلى حركة خفض بمعدل ٣,٤ ملليمتراً فى السنة، وسوف تظل تلك الشواطئ فى الارتفاع والبحر فى الانحسار حتى تصل المنطقة إلى حالة ثابتة من التوازن الايزوستاتيكى. وهناك مناطق أخرى من العالم تأثرت بعملية الهبوط الأرضى التى تؤيد ظاهرة

التوازن، من أمثلتها دلتا المسيسبى، فالرواسب الدلتاوية تتميز بعظم سمكها وثقلها مما يؤدى إلى هبوط الرصيف القارى الذى ترسبت فوقه، وبالتالى يمكن لطبقة أخرى أن تتكون فى نفس العمق الذى ترسبت فيه الطبقة السابقة، وهذه العملية مستمرة حتى الوقت الحاضر. ويتضح من ذلك أن القشرة الأرضية تحاول دائماً أن تحافظ على استقرار توازنها، ويتأثر هذا التوازن بفعل كل من العوامل الخارجية (عوامل التعرية) والعوامل الداخلية (الحركات التكتونية).

الفصل الثالث

مكونات القشرة الأرضية (المعادن والصخور)

- المعـــادن.
  - الخواص الطبيعية للمعادن.
  - تقسيم المعادن من حيث التركيب الكيميائي.
  - التقسيم العام للمعادن.
- الصخـــور.

أولاً : الصخور النارية.

- تصنيف الصخور النارية.
- أشكال الصخور النارية.
- وصف بعض الصخور النارية الهامة.

ثانياً: الصخور الرسوبية.

- العوامل المكونة للصخور الرسوبية.
- تركيب وتصنيف الصخور الرسوبية.
- وصف بعض الصخور الرسوبية.

ثالثاً: الصخور المتحولة.

- عوامل التحول.
- أنواع التحول.
- سحنات التحول.
- تصنيف الصخور المتحولة.

الفصل الثالث

مكونات القشرة الأرضية

(المعادن والصخور)

تتكون القشرة الأرضية من المعادن والصخور، ويعتبر المعدن وحدة تركيب الصخر، بمعنى أن أى صخر يتركب عادة من معدنين أو أكثر. كما يعتبر العنصر وحدة تركيب المعدن، أى أن المعدن عبارة عن مركب كيميائى من اتحاد عنصرين أو أكثر إلا أن هناك بعض المعادن تتكون من عنصر واحد مثل الذهب، وكذلك الألماس الذى يتكون من عنصر الكربون. ومع أن العناصر التى تدخل فى تكوين القشرة الأرضية تبلغ نحو مائة عنصر، إلا أن نحو عشرة منها فقط تكوّن أكثر من ٩٩ ٪ من مكونات القشرة الأرضية. ذلك أن كثيراً من العناصر الأخرى كالذهب والنحاس والقصدير نادرة جداً فى الصخور ولا توجد مركزة عادة إلا فى أماكن خاصة.

ويبين الجدول التالى النسب المئوية للعناصر العشرة الرئيسية وأكاسيدها التى تتكون منها القشرة الأرضية.

جدول رقم (١٢)

العناصر الرئيسية وأكاسيدها التي تتكون منها القشرة الأرضية

العناصر				أكاسيد العناصر			
العنصر			النسبة %	الاكسيد			النسبة %
الأوكسيجين	أ .	O	٤٦,٦٠	السيليكا	أس ٢	SiO_2	٥٩,٢٦
السيليكون	س	Si	٢٧,٧٢	الألومنيا	لو٢ أ٣	Al_2O_3	١٥,٣٥
الألومنيوم	لو	Al	٨,١٣	الحديديك	ح٢ أ٣	Fe_2O_3	٣,١٤
الحديد	ح	Fe	٥,٠٥	الحديدوز	ح أ	FeO	٣,٧٤
الكالسيوم	كا	Ca	٣,٦٣	الجير	كا أ	CaO	٥,١٠
الصوديوم	ص	Na	٢,٨٣	الصودا	ص أ٢	NaO_2	٣,٨١
البوتاسيوم	بو	K	٢,٥٩	البوتاس	بو أ٢	KO_2	٣,١٢
المغنسيوم	ما	M	٢,٠٩	المغنسيا	ما أ	MgO	٣,٤٦
التيتانيوم	ت	Ti	٠,٤٤	التيتانيا	ت أ٢	TiO_2	٥,٧٣
الهيدروجين	يد	H	٠,١٤	الماء	يد٢ أ	H_2O	١,٢٦
المجموع			٩٩,٢٢	المجموع			٩٨,٩٧

يتضح من الجدول السابق أن الأوكسيجين هو أكثر العناصر انتشاراً فى قشرة الأرض. وهذا لا يعنى أن هذا الغاز يوجد حراً طليقاً فى القشرة ولكنه يوجد متحداً مع باقى العناصر اتحاداً كيميائياً فى الطبيعة. وكذلك الحال فى باقى العناصر فهى تتحد اتحاداً كيميائياً مع الأوكسيجين ومع العناصر الأخرى فى هيئة مركبات كيميائية. والعناصر المذكورة فى الجدول السابق ماعدا الأوكسيجين والسيليكون والهيدروجين عبارة عن فلزات، ولكن السيليكون له خواص تضعه بين الفلزات واللافلزات وهو له ميل للإتحاد بالفلزات. وتتحد جميع العناصر المذكورة كيميائياً مع الأوكسيجين مكونة الأكاسيد. وتعطى

أكاسيد الفلزات مواداً قاعدية، بينما تعطى أكاسيد اللافلزات مواد حمضية. ويتفاعل أكسيد السيليكون وخصوصاً فى وجود الأكاسيد الفلزية وكأنه أكسيد حمضى. فمثلاً يتحد أكسيد المغنسيوم مع أكسيد السيليكون اتحاداً كيميائياً وينتج عن ذلك مركب كيميائى هو سليكات المغنسيوم :

أكسيد المغنسيوم + أكسيد السيليكون ← سيليكات المغنسيوم



$$MgO + SiO_2 \rightarrow MgSiO_3$$

وهذا المركب الكيميائى هو أحد المركبات التى تتكون طبيعياً فى جوف الأرض. ويتحد عادة أكثر من أكسيد فلزى مع أكسيد السيليكون وينتج سيليكات ثنائية أو أعلى من ذلك، مثل اتحاد سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم فتعطى معدن الأورثوكلاز $KALSi_3O_8$. وتسمى هذه السيليكات والمركبات الكيميائية التى توجد فى الطبيعة دون تدخل الإنسان فى تركيبها بالمعادن Minerals، وهى التى تدخل فى تكوين الصخور المختلفة التى تكوّن القشرة الأرضية.

المعـــادن MINERALS

المعدن عبارة عن مادة طبيعية غير عضوية، له تركيب كيميائى خاص وصفات طبيعية متجانسة يتميز بها عن غيره. ويكون المعدن فى الطبيعة إما متبلوراً أو غير متبلور. وقد يوجد بشكل ظاهر يمكن رؤيته بسهولة أو العكس. إذ أن هناك بعض المعادن لا يمكن رؤيتها مثل الذهب الذى يكون عادة فى شكل حبيبات دقيقة مختلطة بمعدن الكوارتز (المرو).

الخواص الطبيعية للمعادن :

لكل معدن مجموعة من الصفات الطبيعية يتميز بها عن غيره من المعادن. وهذه الصفات هى: اللون – البريق – الشكل – درجة الصلابة – التشقق – الوزن النوعى – المكسر – المذاق – الشكل البللورى. وفيما يلى عرض مختصر لتلك الخواص :

١- **اللـون:** تتميز الكثير من المعادن بألوانها الطبيعية التى تساعد على التعرف عليها فالكبريت أصفر والهيماتيت أحمر والكالسيت لا لون له. وفى كثير من الأحيان يأخذ المعدن الواحد عدة ألوان نتيجة لوجود شوائب به فمعدن الكوارتز مثلاً يكون شفافاً إذا كان نقياً ولكنه يأخذ ألوان الرمادى أو الأصفر أو البنفسجى حسب الشوائب الموجودة فيه والتى تغير من لونه. ويمكن الالتجاء إلى طريقة أخرى لمعرفة اللون الأصلى للمعدن وذلك بحكه على سطح خشن فينتج عنه مسحوق ذو لون معين يمكن على أساسه التفرقة بين المعادن المختلفة وأكاسيدها. فأكسيد الحديد الهيماتيتى يكون لون مسحوقه أحمر، أما أكسيد الحديد المائى (الليمونيت) فلون مسحوقه بنى وأكسيد الحديد المغناطيسى لون مسحوقه رمادى.

٢- **البريـق:** يتميز كل معدن بنوع معين من البريق يتوقف على انعكاس الضوء الساقط على سطحه. ويمكن تقسيم المعادن إلى مجموعتين تبعاً لهذه الخاصية:

(أ) معادن لها بريق معدنى Metallic Lusture حينما ينعكس الضوء على سطوح هذه المعادن فإنها تبدو بالبريق العادى للفلزات. وتتميز المعادن العنصرية كالذهب والفضة بهذا البريق الفلزى (المعدنى). وهناك معادن لها بريق نصف معدنى مثل معدن الكروم.

(ب) معادن ليس لها بريق معدنى Non-Metallic Lusture وهى كثيرة ومنتشرة ويوجد لها أنواع مختلفة من البريق أهمها:

- بريق ماسى: وهو بريق شديد باهر كالماس.
- بريق زجاجى Vitreous: مثل معادن الكوارتز وملح الطعام والكالسيت.
- بريق لؤلؤى Pearly: مثل معادن الميكا والتلك.
- بريق حريرى Silky: مثل معادن الاسبستوس والجبس.
- بريق دهنى أو صمغى Greasy: مثل معادن الكبريت والكوارتز.

وهناك معادن لا بريق لها وهى نادرة وتسمى بالمعادن المطفأة.

٣- الشكل Form: توجد أشكال خاصة لبعض المعادن تميزها عن غيرها وأهمها :

– ليفية الشكل: تكون على شكل ألياف مثل معدن الاسبستوس (الحرير الصخرى).

– عنقودية الشكل: تكون بشكل تجمع كروى كعنقود العنب مثل معدن الكالسيدونى.

– شجرية الشكل: شكلها كالشجرة الصغيرة مثل بعض معادن المنجنيز.

– كلوية الشكل: تكون بشكل الكلية، مثل بعض معادن الحديد.

– قشرية الشكل: تكون بشكل قشور السمك مثل معدن الفيرموكوليت.

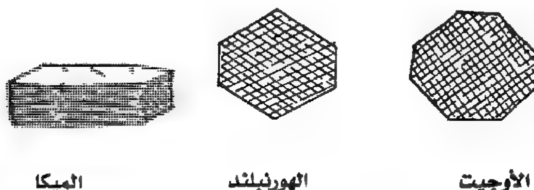
٤- الصلابة Hardness: يقصد بالصلابة مقدار مقاومة المعدن لتأثير العوامل الميكانيكية مثل التحطيم والخدش. ويمكن تعيين صلابة المعدن تبعاً لمقياس يعرف بمقياس «موه» Moh's Scale of Hurdness. وقد اختير لهذا المقياس عشرة معادن رتبت بالنسبة لدرجة صلابتها ويمكن على أساسها تقدير صلابة المعادن الأخرى تقديراً نسبياً، ويبدأ الترتيب بالمعدن الأقل صلابة وهو التلك ودرجة صلابته واحد وينتهى الترتيب بالمعدن الأعظم فى صلابته وهو الماس ودرجة صلابته عشرة. وهذا الترتيب كالآتى :

التلك	١	الاورثوكلاز	٦
الجبس	٢	الكوارتز	٧
الكالسيت	٣	التوباز	٨
الفلورسبار	٤	الكوارندوم	٩
الهيماتيت	٥	الماس	١٠

وخاصية الصلابة تعتبر ذات أهمية كبيرة فى تمييز المعادن. فالمعادن الصلبة تخدش المعادن الأقل صلابة وبذلك فيمكن قياس صلابة أى معدن بخدشه بأحد المعادن المعروف درجة صلابتها، فإذا خدش يكون أقل من المعدن

الأول صلابة. ويلاحظ أن درجة صلابة ظفر الإنسان تقدر بنحو ٢,٥ ، وهو بذلك يخدش معدن الجبس ولكنه لا يخدش معدن الكالسيت، وبذلك يمكن التمييز بين هذين المعدنين باستعمال الأظفر.

٥- التشقق Cleavage: وهو قابلية المعدن للانقسام على طول سطوح متوازية تسمى بمستويات التشقق أو الانفصام بحيث تكون هذه المستويات أسطح ملساء. وتختلف حدود اتجاهات التشقق في كل معدن عن الآخر. وكذلك تختلف درجة وضوح هذه الخاصية من معدن لآخر. فالكوارتز لا يتشقق والميكا تتشقق في اتجاه واحد هو الاتجاه الموازى لقاعدة البلورة نتيجة لأن ذرات المعدن ضعيفة التماسك في هذا الاتجاه. وهناك معادن تتشقق في أكثر من إتجاه واحد مثل معدن الهورنبلند الذى يتشقق في مستويين يتقاطعان بزاوية قدرها ١٢٠° كذلك نرى معدن الأوجيت يتشقق في مستويين يتقاطعان بزاوية ٩٠° والكالسيت يتشقق في ثلاثة اتجاهات (شكل ٣٥).



شكل (٣٥) التشقق في بعض المعادن

٦- الوزن النوعي أو الكثافة النوعية Specific Gravity: تعتبر هذه الخاصية من الخواص الهامة في الكشف عن المعادن، فقد يتساوى أكثر من معدن في الشكل والبريق واللون ولكن إذا قمنا بقياس الكثافة النوعية لكل منهما نجدهما مختلفين. والكثافة النوعية هي النسبة بين وزن المعدن في الهواء والفرق بين وزنه في الهواء وزنه في الماء.

$$\text{الكثافة النوعية} = \frac{\text{ك}}{\text{ك} - \text{ك}_1}$$

حيث :

ك = وزن المعدن في الهواء.

ك_1 = وزن المعدن في الماء.

وبطبيعة الحال لا يمكن تقدير الوزن النوعي للمعدن إلا في المعمل، ولكن في استطاعتنا عن طريق وزنها براحة اليد أن نقرر ما إذا كان المعدن ينتمي إلى مجموعة المعادن الخفيفة التي يبلغ وزنها النوعي ٢,٥ أم إلى مجموعة المعادن المتوسطة والذي يبلغ وزنها النوعي ٣,٥ – ٤ أم إلى مجموعة المعادن الثقيلة التي يبلغ وزنها النوعي أكثر من ٤,٥ .

٧- المكسر Fracture: يقصد به شكل سطح المعدن عندما ينكسر، ويتباين أشكال المكسر في مختلف المعادن فيبدو سطح المكسر أحياناً في شكل مقعر أو محدب تنتشر عليه خطوط أو تموجات تبدأ من نقطة مركزية ثم تتسع وتتلاشى ويبدو في ذلك مثل المحار ويسمي مكسر محاري. وأحياناً يبدو المكسر مغطى بشظايا ويسمي بالمكسر المشظى وأحياناً يكون المكسر أرضي مثل الصلصال، وقد يكون المكسر مسنن مثل النحاس.

٨- المذاق Taste: تعرف بعض المعادن بمذاقها عندما تذوب في الماء، ويمكن تمييز أنواع المذاق الرئيسية فهناك مذاق ملحي مثل ملح الطعام ومذاق قلوي مثل الصودا ومذاق مرطب مثل نترات البوتاسيوم ومذاق قابض مثل الشبه.

٩- الشكل البللوري Crystal Form: توجد معظم المعادن في الطبيعة على هيئة بلورات ذات أشكال هندسية خاصة، بعضها دقيق لا يرى الا بالمجهر والآخر واضح يمكن رؤيته بالعين المجردة. ولكل معدن شكله البلوري الخاص به والذي يتوقف على ترتيب ذرات المادة المكونة له. أما المعادن غير المتبلورة فأنها ذراتها تكون مبعثرة وليس لها شكل هندسي خاص.

والبللورة تتميز عن المادة المتبلورة في أن لها أسطح خارجية تعرف بالأوجه لبللورية، وهذه الأوجه لها علاقة بالنظام الذري الداخلي. فمن الملاحظ أنه عندما ترتب الذرات نفسها أثناء نمو المادة المتبلورة فإنه يكون هناك عدد معين من السطوح المحتمل تكونها لتحد البلورة الناشئة. وهذه السطوح هي الاتجاهات أو لمستويات التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات. فإذا فحصنا شكل (٣٦) وهو

يبين التركيب الذرى لإحدى البلورات فى بعدين فقط أن الذرات تتباعد عن بعضها بمسافات ثابتة، والأسطح المحتمل تكونها هى تلك التى تشتمل على أكبر عدد من الذرات، لذلك نجد أن السطح أو الوجه أ ب وكذلك أ جـ هما المستويان اللذان يمثلان الأسطح الأكثر انتشاراً فى هذه المادة.

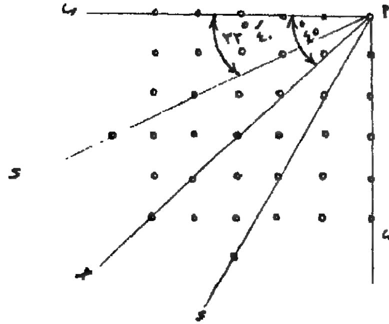
ولما كان التركيب الذرى الداخلى للمادة المتبلورة ثابت، ولما كانت الأوجه لها ارتباط وثيق وثابت بالنظام الذرى الداخلى، فإنه ينتج عن ذلك أن الأوجه البلورية الخارجية لابد وأن تكون لها علاقات ثابتة مع بعضها. هذه العلاقات الثابتة توجد بين الزوايا المحصورة بين هذه الأوجه، وترتبط مع بعضها بأوضاع حسابية ثابتة.

فبلورة ملح الطعام مثلاً على شكل مكعب ذى ستة أوجه منتظمة الشكل، وهذا الشكل المكعبى ثابت سواء كانت هذه البلورة طبيعية أو صناعية تكونت من محاليل مركزه. وتشبه المادة المنصهرة التى فى باطن الأرض (الماجما) Magma المحاليل المركزة، ولذلك إذا بردت ينتج عنها معادن متبلورة ويتوقف حجم البلورة على سرعة فقدان الحرارة والظروف الطبيعية الأخرى المصاحبة لوقت التبلور.

ولدراسة البلورات يفرض وجود ثلاثة محاور وهمية فى وسط البلورة، الأول ويسمى المحور (جـ) يكون رأسياً والثانى ويسمى المحور (ب) يكون افقياً وموازياً للمشاهد، أما الثالث (أ) فإنه يكون افقياً أيضاً ولكن فى إتجاه المشاهد. وهذه المحاور الثلاثة تكون متعامدة على بعضها البعض ومتساوية فى بلورة المكعب، أما فى البلورات الأخرى فقد تكون مختلفة الطول ومائلة.

تقسيم البلورات :

تقسم البلورات لتسهيل دراستها إلى ستة مجموعات، تتميز كل مجموعة منها بعدد ثابت من المحاور. وهذه المجموعات هى (شكل ٣٧):



شكل (٣٦)
التركيب الذري لإحدى البلورات المعدنية في بعدين فقط

١- مجموعة المكعب Cubic System.

٢- مجموعة السداسى Hexagonal System.

٣- مجموعة الرباعى Tetragonal System.

٤- مجموعة المعين Orthorhombic System.

٥- مجموعة احادى الميل Monoclinic System.

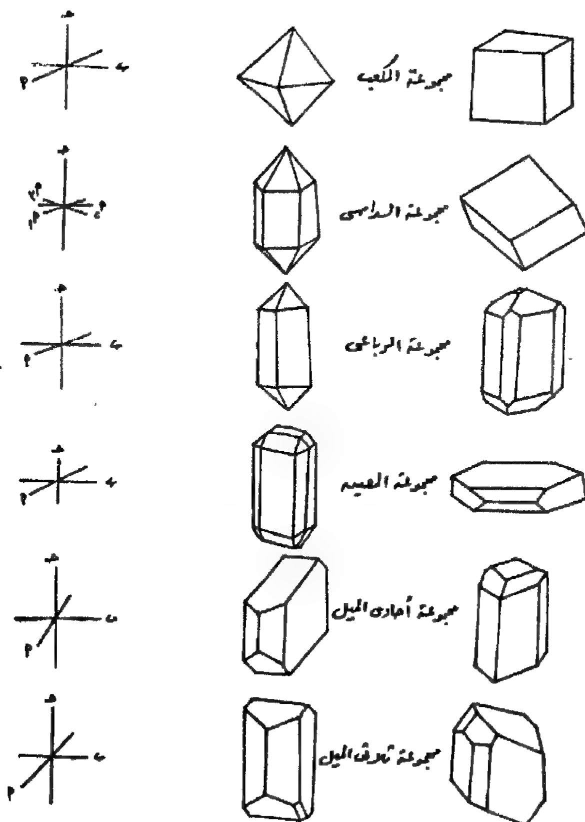
٦- مجموعة ثلاثى الميل Triclinic System.

ويبين الجدول التالى أهم خواص هذه المجموعات مع ذكر أمثلة لبعض المعادن لكل منها :

جدول رقم (١٤)

خواص المجموعات البللورية

رقم	المجموعات	المحاور البلورية	أمثلة
١	المكعب	٣ محاور متعامدة ومتساوية.	ملح الطعام – البيريت – الفلورسبار.
٢	السداسى	٤ محاور متعامدة: ٣ منها متساوية وافقية، ١ عمودى عليها.	الكوارتز – الكالسيت.
٣	الرباعى	٣ محاور متعامدة: ٢ منها متساوية وافقية، ١ عمودى عليها وأطول أو أقصر منهما.	القصدير الزريكون.
٤	المعين	٣ محاور متعامدة، كلها غير متساوية.	الأوليفين – التوباز.
٥	أحادى الميل	٣ محاور غير متساوية. المحور (جـ) متعامد على المحور (ب) ولكن المحور (أ) مائل.	الجبس – الميكا.
٦	ثلاثى الميل	٣ محاور غير متساوية وكلها مائلة.	البلاجيوكلاز.



شكل رقم (٣٧)

المجموعات البلورية

تقسيم المعادن من حيث التركيب الكيميائي

تنقسم المعادن من حيث تركيبها الكيميائى، وبالأخص من ناحية دخول السليكا فى التركيب أو عدم دخولها إلى قسمين كبيرين :

١- المعادن الخالية من السليكا: وهى تكوّن مجموعة كبيرة من المعادن لها قيمة اقتصادية هامة ولهذا تعتبر أساساً لكثير من الصناعات المختلفة.

٢- المعادن التى تحتوى على السليكا: لها أهمية قصوى فى تركيب الصخور وتشمل مجموعة كبيرة من المعادن. وتعتبر السليكا من الاحماض التى لها كثير من المركبات الكيميائية التى تسمى السليكات والتى يتكون منها عدد عظيم من المعادن التى تميز الأنواع المختلفة من الصخور.

أولاً: المعادن الخالية من السليكا :

هذه المعادن لها تركيب كيميائى مختلف لا تدخل السليكا فيه، وتوجد منها فى الطبيعة مجموعات مختلفة من المعادن الهامة نذكر منها ما يلى :

١- معادن توجد على هيئة عناصر:

مثل معادن الذهب والنحاس والكربون (الفحم) والكبريت، وكثيراً ما تشاهد هذه المعادن - ماعدا الفحم - مختلطة مع معادن أخرى فى الطبيعة. فالذهب مثلاً يوجد مختلطاً مع معدن الكوارتز (المرو) ويصعب مشاهدته أحياناً ولكن بإجراء التحاليل الكيميائية للعينات المختلفة التى تستخرج من عروق المرو يمكن معرفة المواضع الغنية بالذهب. أما معدن الكبريت فيوجد مصحوباً عادة بمعدن الجبس ولو أنه كثيراً ما يوجد بحالته العنصرية.

٢- معادن توجد على شكل أكاسيد: مثل :

(أ) **اكسيد الالومنيوم (الكوراندوم) لو ٢ أ ٣:** يتبلور هذا المعدن فى مجموعة السداسى وصلابته ٩ وكثافته النوعية ٤، وتتباين ألوانه من الرمادى إلى الرمادى الداكن وقد يكون شفافاً أو معتماً. وبعض الأصناف الشفافة منه تستخدم فى الزينة. ويوجد هذا المعدن فى كثير من الصخور النارية وبعض الصخور المتحولة.

(ب) اكسيد الحديد: للحديد عدة أكاسيد تختلف في تركيبها الكيميائي وأهمها أربعة :

* اكسيد الحديد المغناطيسي (الماجنتيت) ح$_{٣}$ أ$_{٤}$: يتبلور هذا المعدن فى مجموعة المكعب ثماني الأوجه ويوجد أحياناً على شكل حبيبات، ولونه أسود وبريقه معدني وصلابته ٥,٥ – ٦,٥ ، وكثافته النوعية ٥,٢ ° ولهذا المعدن صفات مغناطيسية تميزه عن بقية أكاسيد الحديد.

* الهيماتيت ح$_{٢}$ أ$_{٣}$: يعتبر من المعادن الاقتصادية الهامة. ويتبلور في مجموعة السداسي ولو أنه كثيراً ما يوجد غير متبلور ويظهر على شكل كتل تشبه الكلية. ويختلف لونه من الأصفر إلى الأحمر القاتم واللون الشائع هو الأحمر ويتميز بلون مسحوقه الأحمر عن بقية أكاسيد الحديد. وقد يكون له بريق معدني، وصلابته من ٥,٥ – ٦,٥ وكثافته النوعية ٥,٢ . وفى نطاق التجوية يتحول إلى اكسيد الحديد المائي (الليمونيت) بعد مدة طويلة. ويوجد الهيماتيت بشكل واسع فى الطبيعة في الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة وهو يبدو على شكل طبقات. ويعتبر المصدر الأساسي لخام الحديد فى العالم.

* اكسيد الحديد المائي (الليمونيت) ح$_{٢}$ أ$_{٣}$ ن (يد أ): هذا المعدن لا يتبلور ولكنه يوجد بشكل كتلي وأحياناً على شكل عناقيد صغيرة، ويتباين لونه من البني إلى الأصفر ولون مسحوقه بني، وصلابته ٥، وكثافته النوعية ٣,٨ وكثيراً ما يكون مختلطاً ببعض الصخور فيعطيها لوناً بنياً.

* اكسيد الحديد التيتاني (الالمنيت) ح ت أ$_{٣}$: يختلف هذا الاكسيد عن باقي أكاسيد الحديد الأخرى في وجود عنصر التيتانيوم في تركيبه الكيميائي. ويتبلور في مجموعة السداسي ولو أنه يوجد أحياناً على شكل حبيبات صغيرة، وعادة لا يظهر فيه التشقق وصلابته ٥ – ٦ وكثافته النوعية ٤,٥ ، وهو معدن معتم ولون مسحوقه أسود. ويوجد في الصخور النارية والمتحولة. ويستغل هذا المعدن ليس من أجل الحديد ولكن لاستخراج عنصر التيتانيوم الذى يدخل في كثير من الصناعات وخاصة صناعة الصلب الخاص بأجسام الطائرات.

(جـ) اكسيد القصدير (الكاسيتريت) ق أ ٢: يتبلور هذا المعدن فى مجموعة الرباعى ويختلف لونه من البنى الداكن إلى الأسود، وصلابته من ٦ إلى ٧ وكثافته النوعية ٦,٨ ويوجد هذا المعدن عادة مصحوباً بمعدن الكوارتز وخصوصاً فى المناطق التى توجد فيها صخور نارية حامضية. وتلعب المياه دوراً كبيراً فى نقل وتركيز هذا المعدن فى مواضع خاصة فى الأودية حيث يمكن استغلاله وتسمى هذه الرواسب المعدنية بالبرقاء أو البرقة Placer deposits.

(د) اكسيد المنجنيز (البيرولوسيت) م أ ٢: يتبلور فى مجموعة المعين، ويوجد على شكل ألياف أو إبر متشققة وأحياناً على شكل كتل، لونه أسود ذو لمعان حديدى وصلابته ٢,٥ ووزنه النوعى ٥. ويوجد البيرولوسيت كمعدن أولى فى الصخور النارية أو كمعدن ثانوى فى الصخور الرسوبية.

٢- معادن توجد على هيئة كربونات:

تختلف هذه المعادن عن المعادن السابقة إذ أنها تتركب من كربونات عناصر مختلفة أهمها الكالسيوم والمغنسيوم ومن أمثلتها:

(أ) معدن الكالسيت كا ك أ ٣: من أهم المعادن التى توجد بشكل كربونات ويتركب من كربونات الكالسيوم، ويتبلور فى مجموعة السداسى، وله تشقق واضح حيث ينفصل إلى أجزاء صغيرة وصلابته ٣ وكثافته النوعية ٢,٧. ويوجد أحياناً على شكل بلورات ابرية أو بشكل أسنان الكلب، وهو شفاف لا لون له ولكنه قد يكون أبيض أو رمادى إذا اختلطت به بعض الشوائب. ويعتبر هذا المعدن أهم مركبات الحجر الجيرى، ويمكن الكشف عليه بسهولة بإضافة نقطة من حامض الكلورودريك فيتفاعل ويحدث فوران ويتصاعد غاز ثانى اكسيد الكربون. وهو يشبه معدن الكوارتز فى لونه ولكن يمكن تمييزه عنه بخاصتى الصلابة والتشقق.

(ب) معدن الدولوميت كا ما (ك أ ٣)٢: يلاحظ فى هذا المعدن اشتراك عنصر المغنسيوم مع عنصر الكالسيوم فى تركيب الكربونات. وهناك علاقة وثيقة بين هذا المعدن ومعدن الكالسيت، فعند مرور محاليل غنية بالمغنسيوم على عروق الكالسيت يحل عنصر المغنسيوم محل الكالسيوم ويتبادل

الذرات ويتغير معدن الكالسيت بمرور الوقت إلى معدن الدولوميت، وكثيراً ما تتأثر الصخور الجيرية بهذا التفاعل فتتحول تدريجياً إلى صخور جيرية دولوميتية. ويتبلور الدولوميت في مجموعة السداسى وله تشقق واضح ولونه أبيض أو أصفر أو بنى وله بريق زجاجى أو صدفى، وصلابته ٣,٥ – ٤ وكثافته النوعية ٢,٩. وهذا المعدن لا يتفاعل مع حامض الكلورودريك البارد وبهذا يمكن تمييزه عن الكالسيت.

(جـ) **معدن السيدريت (ح كا) ك أ ٣ :** وهو عبارة عن كربونات الحديد، ويتبلور فى مجموعة السداسى وصلابته ٣,٥ – ٤ وكثافته ٣,٨ ويختلف لونه من البنى الداكن إلى الأسود وبريقه زجاجى. وهو يتأثر بالعوامل الجوية فيتحول إلى أكسيد الحديد المائى فى نطاق التجوية. أما فى باطن الأرض فيتحول إلى الماجنتيت أو الهيماتيت.

(د) **معدن النطرون ص ٢ (ك أ ٣) ن (يد٢ أ) :** وهو كربونات الصوديوم المائية ويتبلور فى مجموعة أحادى الميل، ويوجد على شكل حبيبات أو طبقات ويختلف لونه من الأبيض إلى الرمادى وأحياناً يميل إلى الصفرة، وبريقه زجاجى أو ترابى، وصلابته ١,٥ وكثافته النوعية ١,٤٦ .

٤- معادن توجد على شكل كبريتات :

تختلف هذه المعادن عن المعادن السابقة فى أن حامض الكبرتيك يدخل فى تركيبها وأهم المعادن:

(أ) **الجبس كا(كب أ٤)، ٢ يد ٢ أ:** وهو كبريتات الكالسيوم المائية، ويوجد عادة متبلوراً فى فصيلة أحادى الميل، وأحياناً على شكل بلورات ليفية وأحياناً على شكل كتلى، وبريقه حريرى وهو معدن شفاف ولكنه يتأثر بالشوائب فيتغير لونه إلى الأبيض وصلابته ١ – ١,٥ وكثافته النوعية ٢,٣ . وهناك نوع من الجبس يسمى بالانهيدريت وهو جبس لا مائى (كبريتات كالسيوم لا مائية) وهذا المعدن يتبلور فى مجموعة المعين وله تشقق واضح وصلابته ٣ – ٣,٥ وكثافته النوعية ٢,٩ ويوجد عادة على شكل عدسات بين طبقات الصخور الرسوبية.

(ب) **الباريت با (كب أ٤)،** وهو كبريتات الباريوم. يتبلور فى مجموعة المعين،

وهو اما شفاف أو أبيض وتشققه واضح، وبريقه زجاجي وصلابته ٣ – ٣,٥ وكثافته النوعية ٤,٥ ويوجد عادة مع معدن الكالسيت وفي عروق الزنك والرصاص.

٥- معادن توجد على شكل كبريتيدات :

يختلف التركيب الكيميائى لهذه المعادن عن سابقتها بعدم وجود عنصر الاوكسچين ومن أمثلتها :

(أ) البيريت ح كب٢: وهو كبريتيد الحديد. ويتبلور فى مجموعة المكعب، ولونه أصفر نحاسي ولون مسحوقه أسود مائل للخضرة، وبريقه معدنى، وليس له تشقق واضح وصلابته ٦ – ٦,٥ وكثافته النوعية ٤,٩ – ٥,١ . ويتحول هذا المعدن فى نطاق التجوية إلى أكسيد الحديد المائى. ويوجد فى كثير من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، وله قيمة اقتصادية كبيرة كمصدر للكبريت.

(ب) الماركزيت ح كب٢: وهو كبريتيد الحديد، ولكنه يختلف عن البيريت فى أنه يتبلور فى مجموعة المعين ويوجد على شكل حبيبات وصلابته ٦ وكثافته النوعية ٤,٩ ، ويوجد فى الصخور الرسوبية.

(جـ) البيروتيت ح١١ كب١٢: وهو عبارة عن بيريت مغناطيسى. ويتبلور فى مجموعة السداسى ولونه بنى أو نحاسى ويحتوى على نسب ضئيلة من النيكل وله خواص مغناطيسية. صلابته ٤ وكثافته النوعية ٤,٥ .

(د) الجالينا د.كب: وهو كبريتيد الرصاص ويحتوى على كمية من الفضة وإذا زادت فيه نسبة الفضة يعرف باسم الجالينا الفضية. ويتبلور فى مجموعة المكعب ولونه رصاصى وله تشقق واضح وبريقه معدنى، وصلابته ٢,٥ وكثافته النوعية ٧,٥ . ويوجد مع عروق الزنك والكالسيت وفى فواصل الحجر الجيرى والجبس.

(هـ) الزنك بلند: وهو كبريتيد الزنك، ويتبلور فى مجموعة المكعب ولونه بنى أو أسود، وتشققه واضح وبريقه صمغى، صلابته ٣,٥ – ٤ ، وكثافته النوعية٤ . وهو مصدر لمعدن الزنك ويوجد مصاحباً لمعدن الجالينا.

٦- معادن أساسها الهالوجينات :

(أ) معدن الأباتيت كا٥ (كل أو ف) (فو أ ٤)٣ : يتركب من فلوريد الكالسيوم مع فوسفات الكالسيوم وأحياناً يحل عنصر الكلور محل عنصر الفلور. يتبلور في مجموعة السداسي، ولونه بني أو مائل للأخضرار، صلابته ٥ وكثافته النوعية ٣,٢ . ويوجد في الصخور النارية ويعتبر كمصدر من مصادر خام الفوسفات.

(ب) الهاليت كل ص : وهو كلوريد الصوديوم أو ملح الطعام. ويتبلور في مجموعة المكعب لونه أبيض أو شفاف وأحياناً يتلون باللون الأصفر أو الأحمر لوجود بعض الشوائب، ويذوب في الماء، وتشققه واضح وصلابته ٢ وكثافته النوعية ٢,٢ . ويوجد على شكل طبقات رقيقة في الصخور الرسوبية وعادة يوجد مختلطاً مع الجبس.

(جـ)الفلورسبار ف٢ كا : وهو فلوريد الكالسيوم. يتبلور في فصيلة المكعب وهو اما شفاف أو أصفر أو أخضر، وله تشقق واضح وبريقه زجاجي، صلابته ٤ وكثافته النوعية ٣,٢ . ويوجد عادة في عروق الزنك والرصاص وأحياناً مع القصدير.

ثانياً: المعادن التي تدخل السليكا في تركيبها :

١- الكوارتز أو المروس أ ٢:

يتركب هذا المعدن من ثاني اكسيد السليكون، ولونه شفاف ولكنه غالباً أبيض وتختلط به عناصر أخرى فيتغير لونه إلى الرمادي والأصفر والوردي والبنفسجي والدخاني. ويتبلور في مجموعة السداسي، بريقه زجاجي، صلابته ٧ وكثافته النوعية ٢,٧ . وتوجد بعض أصناف منه معتمة مثل الصوان واليشب. ويوجد على شكل عروق متدخلة في الصخور النارية والمتحولة ويمكن تمييزها بسهولة بلونها الأبيض.

٢- مجموعة الفلسبار:

لها أنواع متعددة من المعادن تدخل فى تركيب الصخور النارية والمتحولة، وهى تتركب من سليكات الألومنيوم مع البوتاسيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم، ولذلك يمكن تقسيمها إلى مجموعتين :

(أ) معادن تتركب من سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم، وأهم معدن فيها هو الأورثوكلاز، ويتبلور هذا المعدن فى مجموعة أحادى الميل ولونه أبيض أو أحمر وردى وبريقه زجاجى وتشققه واضح وصلابته ٦ وكثافته النوعية ٢,٦ . ويدخل هذا المعدن فى تركيب صخور الجرانيت والسيانيت وغيرهما من الصخور النارية الحامضية أى الغنية بالسليكا. ويلاحظ أن هذا المعدن يتحلل إلى معادن ثانوية أخرى أهمها الكاولين.

(ب) معادن تتركب من سليكات الألومنيوم مع الصوديوم والكالسيوم وأهم معدن فيها البلاچيوكلاز وفى الحقيقة نجد أن هذا الأسم يدل على عدد من معادن الفلسبار التى تختلف فيها نسبة سليكات الألومنيوم مع الكالسيوم. وكلما كانت الصخور قاعدية نجد أن معدن البلاچيوكلاز يحتوى على نسبة كبيرة من سليكات الألومنيوم مع الكالسيوم. وهذه المعادن تتبلور فى مجموعة ثلاثى الميل ولونها أبيض أو رمادى وتشققها واضح وصلابتها ٦٠ – ٦,٥ وكثافتها النوعية ٢,٥ .

٣- مجموعة الميكا:

تضم هذه المجموعة عدة معادن للميكا مختلفة التركيب مثل المسكوفيت (الميكا البيضاء) والبيوتيت (الميكا السوداء) وغيرها. وهذه المعادن معقدة التركيب الكيميائى فنجد مثلاً المسكوفيت تتركب من سليكات الألومنيوم المائية مع البوتاسيوم بينما تتركب البيوتيت من سليكات الألومنيوم المائية مع المغنسيوم والحديد. ويتبلور المسكوفيت فى مجموعة أحادى الميل وتشققه موازى لقاعدة البلورة وصلابته ٢ – ٢,٥ وكثافته النوعية ٢,٩ ، أما البيوتيت

فصلابته ٢,٥ – ٣ وكثافته النوعية ٢,٩ – ٣,١ ويوجد فى صخر الجرانيت ويختلف هذا المعدن عن سابقه فى أنه سريع التحلل ويتحول إلى معدن الكلوريت الأخضر.

٤- مجموعة الامفيبول :

تضم هذه المجموعة عدد كبير من المعادن المعقدة فى تركيبها الكيميائى، وهى تتبلور أما فى احادى الميل أو ثلاثى الميل أو المعين. وبلوراتها عادة تأخذ أشكالاً طويلة وتتميز بوضوح تشققها فى مستويين يتقاطعان بزاوية قدرها ١٢٤° وأهم معادنها:

(أ) **الهورنبلند**، يتركب من سليكات الألومنيوم المائية مع الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد ويتبلور فى مجموعة احادى الميل، وبريقه زجاجى وصلابته ٥ – ٦ وكثافته النوعية ٣ – ٣,٤ وهو يدخل فى تركيب كثير من الصخور النارية.

(ب) **معدن الاسبستوس**، يتكون من ألياف صغيرة طويلة تشبه الخيوط الحريرى، لذلك يسمى أحياناً بالحرير الصخرى ويستخدم فى صنع الملابس الحرارية.

٥- مجموعة البيروكسين :

تتكون هذه المجموعة من معادن مختلفة تتبلور فى مجموعة المعين وبعضها فى مجموعة أحادى الميل. ومن أمثلتها :

معدن الأوجيت، يتركب من سليكات الألومنيوم مع الكالسيوم والمغنسيوم والحديد يتبلور فى مجموعة أحادى الميل، لونه بنى أو أسود وبريقه زجاجى أو صمغى وصلابته ٥ – ٦ وكثافته النوعية ٣,٣ – ٣,٥. ويوجد عادة فى الصخور النارية القاعدية وفوق القاعدية مثل صخور الجابرو.

٦- مجموعة الأوليفين :

ويمثلها معدن الأوليفين ويتركب من سليكات المغنسيوم والحديد، ويتبلور فى مجموعة المعين ولونه أخضر زيتونى أو أصفر وصلابته ٦,٥ وكثافته النوعية ٣,٢ – ٣,٦ ويوجد هذا المعدن عادة فى الصخور القاعدية وفوق القاعدية وفى الصخور المتحولة.

٧- مجموعة الجارنت :

تتركب معادن الجارنت من سليكات الحديد والألومنيوم، وتتبلور فى مجموعة المعين وتوجد على شكل حبيبات. ويمثل هذه المجموعة معدن الجارنت الذى تبلغ صلابته ٦,٥ – ٧,٥ وكثافته النوعية ٣,١٥ – ٤,٣ ويوجد عادة فى الصخور المتحولة ويندر وجوده فى الصخور النارية.

التقسيم العام للمعادن :

يمكن تقسيم المعادن تبعاً لأسس أخرى غير تراكيبها الكيميائية مثل أسس الثبات وعدمه، أو من حيث كونها أساسية فى تسمية الصخور أو غير أساسية، أو من حيث كونها أولية أو ثانوية فمن حيث الثبات يمكن تقسيم المعادن إلى :

١- **معادن ثابتة:** وهى التى لا تتأثر بمرور الزمن ويظل تركيبها الكيميائى ثابتاً فهى لا تتحلل مهما تفتت مثل معدن الكوارتز الذى تتكون منه معظم الرمال.

٢- **معادن غير ثابتة:** وهى معادن لا تظل ثابتة فى الطبيعة إذ سرعان ما تتأثر بالعوامل الطبيعية الكيميائية مثل عوامل التكرين والتموز فتتحول إلى معادن أخرى. ومن أمثلة المعادن غير الثابتة معدن الفلسبار الذى يتحلل بتأثير الماء المذاب فيه ثانى اكسيد الكربون فينتج من ذلك معدن آخر هو الكاولين.

ومن حيث أهمية المعدن فى تسمية الصخور فيمكن تقسيم المعادن إلى :

١- **معادن أساسية:** وهى تلك التى لها أهمية كبرى فى تسمية الصخور الموجودة فيها فمثلاً يحتوى صخر الجوانيت على معدنية أساسيين هما الكوارتز والفلسبار الحمضى (الاورثوكلاز).

٢- **معادن إضافية:** وهى ليس لها أهمية فى تسمية الصخور سواء كانت موجودة فيها أو غير موجودة فإن اسم الصخر لا يتغير. ومن أمثلتها معدنى التوباز والتورمالين الذين قد يكونا موجودين فى صخر الجرانيت.

ومن حيث كون المعادن أولية أو ثانوية تنقسم إلى :

١- **معادن أولية:** وهى التى توجد بحالتها الأولى فى الطبيعة كما تكونت من المادة المنصهرة (الماجما).

٢- **معادن ثانوية:** وهى معادن ناشئة من تحلل المعادن الأولية. ومن أمثلة المعادن الثانوية :

(أ) **الكلوريت:** سليكات الألومنيوم المائية والحديد والغنسيوم، وينشأ من معدن الميكا أو الهورنبلند، ويتبلور فى مجموعة أحادى لاميل وصلابته ٢ – ٢,٥ وكثافته النوعية ٢,٦ – ٣.

(ب) **السربنتين:** سليكات المغنسيوم المائية والحديد وهو ناتج من تحلل معدن الأوليفين.

أوليفين + ماء + ثانى اكسيد الكربون ← السربنتين + كربونات المغنسيوم.

(جـ) **التلك:** سليكات المغنسيوم المائية. معدن لين، لونه أبيض أو أخضر بريقه صدفى وملمسه صابونى وصلابته ١، كثافته النوعية ٢,٧، وينشأ من تحلل المعادن التى تحتوى على مغنسيوم بكثرة فى الصخور القاعدية.

(د) **الكاولين:** سليكات الألومنيوم المائية، وهو معدن أبيض أو رمادى ناعم كثافته ٢,٦ . وينشأ من تحلل معدن الفلسبار تحت تأثير الماء المحتوى على ثانى اكسيد الكربون.

الفلسبار (أورثوكلاز) + ثانى اكسيد الكربون + ماء ← كاولين + سليكا + كربونات البوتاسيوم.

الصخور Rocks

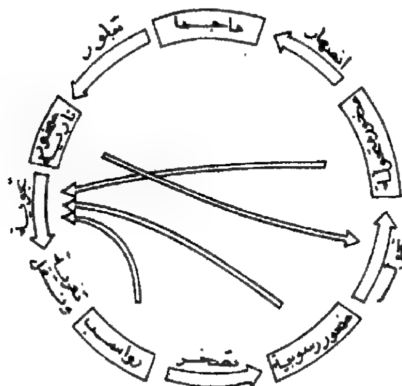
على الرغم من تباين الآراء والنظريات الخاصة بنشأة الأرض، إلا أنه من المؤكد أن كل أجزاء السطح الأصلى للأرض قد مرت فى مرحلة سيولة، وأن المواد الصلبة التى تكونت فى أول الأمر قد اشتقت من هذه المادة المنصهرة (الماجما Magma) . وهذه القشرة الأصلية لا تظهر فى أى مكان على سطح الأرض الحالى إذ تغطيها الصخور التى تكونت بعد ذلك والتى نتجت أما من هذه القشرة أو من انبثاقات تالية من المادة المنصهرة . وتسمى الصخور المتكونة من تصلد الماجما بأنها صخور أولية أو نارية Primary or Igneous Rocks .

وبعد أن تصلبت القشرة الأصلية وتكون الغلاف المائى والغلاف الهوائى، بدأ الماء والهواء فى مهاجمة هذه الصخور الأولية، ونتج عن عملهما هذا أنقاضاً من المفتتات الذى اكتسحته المياه الجارية والرياح ليتجمع فى النهاية فى فجوات القشرة، ويترسب بعد أن كان عالقاً فى الماء والهواء على قيعان الأحواض المنخفضة على اليابس أو فى قاع البحار والمحيطات ويتماسك فى النهاية إلى صخر صلب يضاف إلى القشرة الأرضية الصلبة. كذلك فإن ما نتج عن فعل الماء والهواء من مواد مذابة؛ تترسب تحت ظروف مناسبة بطريق مباشر أو غير مباشر بفعل الأحياء. وفى النهاية فإن هذه الصخور التى نتجت على هذا النحو تصبح صلبة وتساعد فى بناء القشرة الأرضية. وقد استمرت هذه العمليات خلال الأزمنة الچيولوچية، وتعرضت هذه الاضافات الجديدة للهدم والتحلل شأنها شأن الأقدم وأعيد ترسيبها مرة أخرى. وعلى ذلك فمن الممكن لبعض الموادأن تمر بعدة دورات تغير متتابعة. وتدعى الصخور المتكونة بهذه الطرق بالصخور الثانوية Secondary لأنها تكونت من مواد مشتقة أو قديمة. ويمكن تصنيفها إلى صخور فتاتية وصخور كيميائية وصخور عضوية حسب العملية التى اكسبتها صفاتها الأكثر تميزاً.

وقد تتعرض كل من الصخور الأولية والثانوية للحركات الأرضية التى تؤدى إلى غورها فى أعماق القشرة حيث تؤثر عليها الحرارة والضغط الشديدان، ويعاد تكوينها جزئياً أو كلياً وتمحى صفاتها الأصلية كلياً أو جزئياً

وتتسم بصفات أخرى جديدة. وتعرف هذه الصخور التى تغيرت بالصخور المتحولة.

وهكذا فإن هناك تصنيف ثلاثى متعارف عليه للصخور حسب طريقة نشأتها إلى نارية وثانوية (رسوبية) ومتحولة (شكل ٣٨).



شكل (٣٨)
دورة الصخور في الطبيعة

وتتميز الصخور الأولية النارية بوجود معادن متبلورة يتشابك الواحد فيها مع الآخر وتنتظم فى نسيج دقيق التبلور أو زجاجى. وتظهر على الصخور الأولية سمات كالتى تظهرها الانبثاقات البركانية الحديثة من أنها بردت من درجات حرارة عالية. وهى غالباً ما تكون كتلية غير طبقية، عديمة الحفريات وكثيراً ما تشغل العروق والشقوق التى تقطع غيرها من الصخور.

أما الصخور الثانوية فإنها تتركب من مواد فتاتية أو مترسبة من محاليل أو من مواد ذات أصل عضوى. وغالباً ما تكون هذه المواد مفككة وغير متماسكة ثم تلتحم إلى بعضها البعض بالضغط أو بمواد لاحمة فتتصلب وتصير صخوراً صلبة. وبالإضافة إلى ذلك فإنها تتميز بصفة التطبق أى توجد على

شكل طبقات وتحتوى على بقايا عضوية وعلامات أخرى تشير إلى ترسيبها فى وسط مائى أو وسط هوائى على البحر أو على اليابس.

وللصخور المتحولة صفات متوسطة بين تلك الصخور الأولية والصخور الثانوية فتسبب الحرارة والضغط العظيمان إعادة التبلور. وعلى ذلك فغالباً ما تتألف الصخور المتحولة كالصخور الأولية من بلورات محتضنة. وعلاوة على ذلك يسبب الضغط نمو طبقات منتظمة نوعاً ما أو طبيقات رقيقة. ولما كانت الصخور المتحولة قد تكونت من صخور نارية أو رسوبية وجدت من قبلها فانها كثيراً ما تحتفظ ببقايا من بنياتها الأصلية.

وهناك تصنيف آخر للصخور حسب نوع العمليات الچيولوچية تنقسم فيه الصخور إلى مجموعتين رئيسيتين :

١- صخور داخلية النشأة Endogenetic وهى التى تكونت بعمليات ذات نشأة داخلية تعمل فى أعماق الأرض واتجاه عملها من الداخل إلى الخارج. وتتكون هذه الصخور تحت تأثير الحرارة العالية والماء ذو الأصل الماجماتى، وتشتمل هذه المجموعة على الصخور النارية والمتحولة.

٢- صخور خارجية النشأة Exogenetic وهى التى تكونت بعمليات ذات أصل خارجى تعمل على السطح واتجاه عملها من الخارج إلى الداخل. وتتكون صخور هذا القسم تحت درجات الحرارة العادية والماء المصاحب لعمليات التكوين منشأة الغلاف الهوائى وهذه المجموعة تضم الصخور الرسوبية وحدها.

أولاً: الصخور النارية Igneous Rocks

تتكون الصخور النارية من تصلب الماجما Magma تلك المادة المنصهرة اللزجة شديدة الحرارة، لذا فإن البعض يطلق عليها اسم صخور الصهير Magmatic Rocks، كما يطلق عليها اسم الصخور الأولية Primary Rocks لأنها أول ما ظهرت على سطح الأرض والتى تكونت منها القشرة الأرضية، وتعرف أيضاً باسم الصخور المتبلورة Crystalline Rocks ذلك لأن القسم الأعظم منها قد تكون أسفل سطح الأرض مما ساعد على تبلور معادنها.

تصنيف الصخور النارية :

تختلف أسس تصنيف الصخور النارية وباختلافها تختلف مجموعاتها وهذه الأسس هي: اللون والكثافة النوعية والنسيج الصخرى، مكان النشأة، التركيب الكيميائى، التركيب المعدنى.

١- التصنيف على أساس اللون Colours: تختلف ألوان الصخور النارية من صخر لآخر، إلا أنه يمكن تجميعها فى ثلاث مجموعات: صخور تتميز بألوانها الفاتحة Light Coloured وصخور تتميز بألوانها الداكنة أو القاتمة Dark Coloured، وصخور تتوسط هاتين المجموعتين وتشكل المجموعة الثالثة، وهى ذات ألوان متوسطة يغلب عليها اللونين الرمادى والأحمر. ومن الصعب اتخاذ اللون فقط أساساً لتصنيف الصخور النارية وتميزها ذلك لأنها ذات ألوان متعددة.

٢- التصنيف على أساس الكثافة النوعية Specific Gravity: تتراوح الكثافة النوعية للصخور النارية بين ٢,٣ – ٣,٣، ولكن أغلب هذه الصخور تتراوح كثافتها بين ٢,٦ – ٢,٧، فى حين أن القليل منها تزيد كثافته عن ٣,٠. وبهذا يمكن تقسيم الصخور النارية إلى ثلاث مجموعات: الأولى صخور ذات كثافة نوعية عالية تزيد عن ٣,٠، والثانية صخور خفيفة ذات كثافة نوعية منخفضة، والثالثة صخور ذات كثافة نوعية متوسطة. وقد تبين بالملاحظة أن الصخور ذات الكثافة النوعية العالية تتميز دائماً بألوانها الداكنة فى حين أن تلك التى تتميز بانخفاض كثافتها النوعية يغلب عليها الألوان الفاتحة. وعلى هذا يمكن الربط بين هذا التصنيف القائم على أساس الكثافة النوعية والتصنيف السابق القائم على اللون.

٣- التصنيف على أساس النسيج الصخري Texture: يقصد بالنسيج الصخرى، نظام ترتيب وحجم بلورات المعادن التى تدخل فى تركيب الصخر. وتبعاً لاختلاف حجم البلورات التى تتألف منها الصخور النارية، وتنوع ترتيبها، واختلاف المظهر الخارجى للصخر، يمكن أن تقسم الصخور إلى المجموعات الآتية :

(أ) **صخور ذات نسيج خشن Coarse-grained texture**، وتتميز بأن بلوراتها كبيرة الحجم يمكن رؤيتها بالعين المجردة ويتراوح طول البلورة بين ١,٦ ملليمتر إلى عدة سنتيمترات. ومن أشهر صخور هذه المجموعة صخر الجرانيت حتى أنه يتخذ كصفة لهذا النسيج فيقال نسيج جرانيتي Granitoid texture بدلاً من نسيج خشن. ويجب الإشارة هنا إلى أن مثل هذه البلورات الكبيرة لا تتكون إلا على أعماق بعيدة من سطح الأرض بحيث تتعرض مادة الصهير لبرودة تدريجية بطيئة تساعد البلورات على النمو بصورة كاملة.

(ب) **صخور ذات نسيج دقيق Fine-grained texture**، وتتميز بأن بلوراتها دقيقة لا ترى بالعين المجردة ويمكن رؤيتها باستخدام الميكروسكوب أو بعدسة ذات قوة تكبيرية عالية نسبياً في الحقل ويقال عندئذ أن الصخر مجهرى البلورات Microcrystalline وترجع دقة الحبيبات البلورية هنا إلى تعرض المادة الصخرية للتبريد المفاجئ نسبياً وهذا لا يعطى وقتاً كافياً لإتمام عملية التبلور.

(جـ) **صخور ذات نسيج زجاجي Glassy texture**، يطلق هذا التعبير على الصخور عديمة البلورات Noncrystalline Rocks وهي تشبه في مظرها الخارجي الزجاج، ومن أمثلتها الأوبسيديان (الزجاج الطبيعي). ويتضح من الشكل الخارجي لهذه الصخور أنها تكونت نتيجة لانسياب المادة المنصهرة الصخرية المنبثقة من باطن الأرض على سطح الأرض ومن ثم تعرضت للبرودة الفجائية السريع فلم تكن هناك أية فرصة لتكوين بلورات على الإطلاق.

(د) **صخور ذات نسيج بورفيري Porphyritic texture**، يتميز نسيج صخور هذه المجموعة بأنه يتألف من بعض بلورات معدنية كبيرة الحجم متناثرة داخل وسط كبير من البلورات المعدنية المجهرية. وتسمى صخور هذه المجموعة أحياناً بمصطلح فينوكريست Phenocrysts ومعنى هذا أن مواد الصخر تعرضت لفترة محدودة لعمليات البرودة التدريجية ثم انبثق فوق سطح الأرض.

يتضح من هذا التقسيم أن التصنيف النسيجي لا يبين فقط خاصية يمكن قياسها وهو حجم البلورة، ولكنه له دلالة تكوينية لأنه يعتمد على تاريخ التبريد. وتتمثل الصعوبة الأساسية في هذا التصنيف في تقرير عدد البلورات وحدود كل منها خاصة في النسيج البورفيري.

٤- **التصنيف على أساس مكان النشأة:** تتكون الصخور النارية اما تحت سطح القشرة الأرضية على أعماق كبيرة، أو تحت سطح القشرة ولكن قريبة نسبياً منه وتوجد متداخلة فى الشقوق والفجوات التى توجد في الصخور الأخرى، أو فوق سطح القشرة الأرضية وتسمى بالصخور البركانية أو الطفحية. ذلك لأن المادة المنصهرة (الماجما) أثناء صعودها من جوف الأرض إلى السطح يتصلب جزء منها فى الأعماق ويتصلب جزء منها قريباً من سطح الأرض وكذلك فوق السطح نفسه. ولما كانت الصخور العميقة والمتداخلة تتكون أصلاً تحت سطح الأرض، فإن ظهورها وانكشافها على السطح يكون نتيجة تآكل وإزالة الصخور التى تعلوها بفعل عوامل التعرية. وقد يكون ظهورها كذلك نتيجة لتقلصات القشرة الأرضية.

وهكذا يمكن تقسيم الصخور النارية حسب مستويات وجودها بالنسبة للسطح إلى ثلاثة أقسام :

(أ) صخور تتكون على أعماق بعيدة من سطح الأرض وتتميز بأن بلوراتها كبيرة الحجم، وكثافتها النوعية عالية وألوان معادنها بصفة عامة داكنة وتسمى بالصخور البلوتونية Plutonic Rocks .

(ب) صخور تتكون على أعماق قريبة من سطح الأرض نسبياً وبلوراتها فى هذه الحالة متوسطة الحجم وألوان معادنها فاتحة وتسمى بالصخور الوسيطة Hypabyssal Rocks وأحياناً تسمى بصخور القواطع Dykes والسدود Sills .

(جـ) صخور تتكون فوق سطح الأرض وفي هذه الحالة يلاحظ أنها زجاجية التبلور وأحياناً بلوراتها دقيقة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة انما تحت الميكروسكوب وتسمى بالصخور السطحية أو البركانية.

ويتوقف حجم المعادن المتبلورة فى هذه الصخور على الظروف التى تحيط بتكونها، ففى الحالة الأولى يكون العمق كبيراً والحرارة شديد، أما فى الحالة الثانية فالعمق والحرارة متوسطة نسبياً، وفى الحالة الأخيرة فتبرد المادة المنصهرة (الماجما) تحت درجة حرارة الغلاف الجوى العادية. وأحياناً توجد البراكين فى قاع البحار والمحيطات فتبرد الماجما بسرعة كبيرة بفعل المياه الباردة وفى هذه الحالة تكون بلوراتها ذات نسيج زجاجي.

٥- التصنيف على أساس التركيب الكيميائي : يعتبر التصنيف الكيميائي أمراً مرغوباً فيه عند مناقشة أنواع الصهارات ومقارنة مجموعات الصخور النارية. وحيث أن معظم الصخور النارية يدخل في تكوينها السليكا والسيليكيتات، فإنه يمكن استخدام محتوى السليكا كقاعدة لتصنيف هذه الصخور. وتبعاً لهذا تصنف الصخور النارية إلى: سيليكية (حمضية) ومتوسطة ومافية (قاعدية) وفوق مافية (فوق قاعدية). وتسمى الصخور التي تحتوى على أكثر من ٦٦٪ سيليكا صخوراً سيليكية (حمضية) والتي تحتوى على ٥٢ – ٥٦٪ صخوراً متوسطة، والتي بها ٤٥ – ٥٢٪ صخوراً مافية (قاعدية)، والتي تحتوى على أقل من ٤٥٪ سيليكا فوق مافية (فوق قاعدية). فيحتوى الريوليت والجرانيت على حوالي ٧٢٪ سليكا في المتوسط ولذا يعتبران حمضيين. والأنواع الوسيطة تشمل السيانيت (٥٩٪)، والديوريت (٥٧٪). والقاعدية تمثل بالجابرو والبازلت (٤٨٪)، أما البيريد وتيت فيعتبر صخراً مثالياً للصخور فوق القاعدية إذ تبلغ فيه نسبة السليكا ٤١٪ فقط. والصخور الحمضية فقيرة في الكالسيوم والحديد والمغنسيوم لذا فتتميز بألوانها الفاتحة أما الصخور القاعدية فغنية بمعادن المغنسيوم والحديد، وألوانها داكنة.

وهناك تصنيف كيميائي آخر له دلالته التكوينية على أساس محتوى اكسيد الألومنيوم، فالألومنيوم هو العنصر الثاني الأكثر وجوداً في الصخر الناري. ففي الفلسبارات والنفلين واللوسيت تبلغ النسبة بين اكسيد الألومنيوم من ناحية وأكاسيد الصوديوم + البوتاسيوم + الكالسيوم ١ : ١ أي أن اكسيد الألومنيوم يساوي أكاسيد العناصر الثلاثة الأخرى في هذه الصخور. وطبقاً لذلك فإن الزيادة أو النقص في الألومنيا تنعكس على طبيعة الصخور. وتصنف الصخور النارية تبعاً لذلك إلى أربع مجموعات :

١- **صخور فوق الومينية:** وفيها تزيد نسبة الألومنيا على الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم مجتمعة. وتجد الزيادة في الألومينا طريقها إلى المسكوفيت والبيوتيت، الكوراندوم، التورمالين، التوباز. وتأتي الصخور من هذا النوع من ماجما حمضية مائية ذات درجة حرارة منخفضة.

٢- **صخور الومينية:** تزيد نسبة الألومنيا عن نسبة الصوديوم + البوتاسيوم ولكنها تكون أقل من القلويات + الكالسيوم، فيدخل بعض الألومنيا في الهورنبلند والأبيدوت.

٣- **صخور تحت الومينية:** لا توجد أية زيادة في الألومنيا أكثر مما يلزم لتبلور

الفلسبارات والفلسبا ثويدات والمعادن التابعة لهذا القسم هى المعادن الداكنة مثل الأوليفين والبيروكسين. وهذه الصخور تتكون من صهارات ساخنة لا مائية نسبياً.

٤- **صخور فوق قلوية:** تقل الألومنيا فيها عن الصوديوم + البوتاسيوم وهنا تكون المعادن الداكنة المثالية هي الامفيبولات الصودية والبيروكسينات الصودية. وهذه الصخور تتكون فى مراحل التبلور الأخيرة للصهارات الغنية بالصوديوم.

يتضح من التصنيف الكيميائى أنه يقوم على التحليل الكيميائى للصخور نفسها أو صهارتها الافتراضية، وهو غير مناسب للدراسات الميدانية كما أنه غير مناسب للجغرافيين ويلزم الاستعانة بالكيميائيين لإجراء تلك التحاليل .

وهناك تصنيف آخر هو التصنيف المعدنى، حيث أن تعيين التركيب المعدنى للصخر أسهل وأسرع من تعيين التركيب الكيميائى. ومن ناحية أخرى فإن التصنيف الكيميائى لا يأخذ فى اعتباره تاريخ التبريد. فعلى سبيل المثال تعطى نفس الماجما مجموعات معادن مختلفة اختلافاً تاماً تحت ظروف تبريد متباينة. إذ تعطى الماجما التى تتبلور فى الأعماق وفي وجود كثير من الغازات الطيارة صخراً يتكون من أورثوكلاز وبيوتيت، وتعطى نفس الماجما فى حالة الانبثاق السطحي وفقدان الغازات الطيارة لوسيت وأوليفين. ومن هذا نرى أن التصنيف المعدنى بين هذه الصخور يفرق بينها، فى حين أن التصنيف الكيميائى يوحدها ويجمعها لأن الماجما فى كلا الحالتين واحدة.

٦- **التصنيف على أساس التركيب المعدني:** تتكون الصخور النارية من معادن تعد أنواعها ونسبها ذات دلالة هامة، إذ أنها تتحدد بتركيب وتاريخ تبريد الماجما الأصلية. لهذا السبب فإن المحتوى المعدنى للصخور يعتبر قاعدة مناسبة للتصنيف. وتنقسم المعادن كما ذكر سابقاً إلى معادن أساسية ومعادن إضافية ومعادن ثانوية. وينتج القسمان الأولان من تبلور الماجما، أما المعادن الثانوية فتتكون بفعل التجوية الكيميائية أو التحلل الكيميائى للمعادن بتأثير مكونات الغلاف الجوى. ويتوقف تحديد نوع الصخر وتشخيصه على المعادن الأساسية فبسبب تضاؤلها أو اختفاؤها يجرى إبعاد الصخر عن مجموعة ودخوله فى مجموعة أخرى. فالكوارتز مثلاً أساسى فى الجرانيت، والنفلين أساسى فى الفونوليت. أما المعادن الإضافية فتوجد بكميات ضئيلة ولا يلتفت إلى وجودها أو

عدم وجودها، وإذا وجدت بكميات كافية تتطلب وضعها فى تسمية الصخر تسمى معادن إضافية مميزة، وتكسب الصخر صفة بجوار اسمه مثل الديوريت الهورنبلندى.

وعلى ذلك تصنف الصخور النارية حسب تركيبها المعدنى (أى حسب المعادن الأساسية) إلى صخور سيليكية (فلسية)، وصخور مافية (ماغنسيوحديدية). وتعبير فلسى من الفلسبار والفلسباثويد والسليكا، وتعبير ماغنسيوحديدية من المغنسيوم والحديد.

صخور فلسية	صخور ماغنسيو حديدية
كوارتز.	صخور معادن الميكا.
صخور معادن الفلسبار.	صخور معادن البيروكسين.
صخور معادن الفلسباثويد.	صخور معادن الامفيبول.
	صخور معادن الأوليفين.
	صخور معادن أكاسيد الحديد.

وصخور المجموعة الفلسية فاتحة اللون ذات كثافة نوعية منخفضة وتكون فى المراحل الأخيرة من تبلور الماجما. أما صخور المجموعة المغنسيوحديدية فتشمل معادن داكنة اللون عالية الكثافة وتبلورها مبكر نسبياً.

وهناك محاولات لدمج عدة أسس مع بعضها لإمكان تقسيم الصخور النارية، ويبين الجدول التالى تقسيم الصخور النارية الهامة حسب تركيبها الكيميائى وتركيبها المعدنى وأماكن وجودها فى المستويات المختلفة للقشرة الأرضية.

جدول رقم (١٥)

تقسيم الصخور النارية حسب تركيبها الكيميائي والمعدني وأماكن وجودها

التركيب الكيميائي / الموقع من السطح	حامضية	متوسطة	قاعدية	فوق قاعدية
الصخور السطحية البركانية	الريوليت	الانديسيت	البازلت	---
الصخور الوسيطة	كوارتز بورفيرى	بورفيريت	دوليريت	---
صخور الأعماق	الجرانيت	الديوريت	الجابرو	البيريدوتيت
التركيب المعدنى	الأورثوكلاز الكـوارتـز البـلاجـيـوكـلاز المـيـكـا المـعـادن المـعـتـمـة	الهورنبلند	الأوجـيـت الأوليفين	يـتـكـون البـريـدوتـيـت مـن مـعـدن الأوليفين مع بعض المعادن المعتمة.

أشكال الصخور النارية :

تتواجد الصخور النارية فى الطبيعة فى أشكال مختلفة، (شكل ٣٩) هى:

١- الباثوليت **Batholith** : وهو عبارة عن كتلة ضخمة من الصخور النارية تمتد لمسافات كبيرة فى الاتجاه الأفقى، أما فى الاتجاه الرأسى فلا يعرف لها قاعاً. وتمثل هذه الكتل نويات وجذور السلاسل الجبلية الضخمة التى تمتد لمئات الكيلو مترات، وتظهر أجزاء من هذه الكتل على سطح الأرض عند تآكل وإزالة الصخور التى فوقها.

٢- اللاكوليث **Laccolith** : وهى أصغر حجماً من الباثوليت ولذا فإن لها شكل يمكن تحديده فى الاتجاه الأفقى وفى الاتجاه الرأسى. وهذه الكتل تعمل على دفع الصخور الرسوبية التى فوقها إلى أعلى وبذلك تأخذ شكلاً يشبه القبة.

٣- القواطع Dykes : وهى عبارة عن كتل نارية صغيرة الحجم تقطع الطبقات الصخرية الأخرى فى اتجاه عمودى أو مائل ولمسافات كبيرة وتختلف فى سمكها من بضع عشرات من الأمتار إلى أقل من المتر، وغالباً ما يكون لها اتجاه ثابت فى منطقة تواجدها. وسبب تكون هذه القواطع هو أن المادة المنصهرة تملأ الفراغات التى تنشأ عن الفواصل أو الشقوق الموجودة فى الصخور القديمة نتيجة للحركات الأرضية. وعادة ما يصاحب هذه القواطع معادن ذات قيمة اقتصادية وتسمى فى هذه الحالة بالعروق.

٤- السـدود Sills : وهى تشبه القواطع ولا تختلف عنها إلا فى أنها توجد موازية للطبقات، أو لأسطح التطبق، ويتباين سمكها من السمك الكبير إلى بضعة سنتيمترات.



شكل (٣٩)

قطاع في الغلاف الصخري

وصف بعض الصخور النارية الهامة :

١- نموذج من مجموعة الصخور الحمضية: تتميز صخور هذه المجموعة باحتوائها على معدن الكوارتز وكميات كبيرة من الفلسبارات خاصة الأورثوكلاز. وهذه المعادن هى التى تعطى لتلك الصخور ألوانها الفاتحة وكثافتها النوعية المنخفضة التى تبلغ فى المتوسط حوالى ٢,٧ . ومن أمثلتها :

الجرانيت: صخر جوفى عميق يتكون بعيداً عن سطح الأرض حيث ترتفع درجة الحرارة ويزيد الضغط وتكثر الغازات، ولذلك فإن بلوراته كبيرة الحجم. وهو صخر حمضى ويتركب من معدنى الكوارتز والفلسبار وهى معادن أساسية، وقد توجد معادن أخرى مثل الميكا والهورنبلند. فإذا وجدت الميكا بكميات كبيرة سمى بالجرانيت الميكائى، وإذا وجد الهورنبلند سمى بالجرانيت الهورنبلندى. وبجانب هذه المعادن توجد معادن إضافية أخرى لا أهمية لها فى التسمية مثل التوباز والتورمالين. ولون الجرانيت غالباً رمادى أو أحمر ويتوقف ذلك على لون الفلسبار الذى يدخل فى تركيبه، وكثافته النوعية ٢,٦ - ٢,٧ . وتوجد الصخور الجرانيتية فى بعض الأحيان فى هيئة عروق كبيرة تتكون من بلورات ضخمة الحجم بشكل غير عادى، وتسمى صخر البيجماتيت Pegmatite .

٢- نموذج من مجموعة الصخور المتوسطة: تتميز هذه الصخور بأن نسبة المعادن الفاتحة اللون فيها أكبر من نسبة المعادن الداكنة. وأكثر المعادن الداكنة شيوعاً هى البايوتيت والهورنبلند والأوجيت على الترتيب. ومن أمثلتها :

الديورايت: صخر جوفى عميق، كامل التبلور يشبه الجرانيت ولكن تقل فيه كمية الكوارتز ويدخل فى تركيبه أساساً البلاجيوكلاز والهورنبلند، وقد اكسبته هذه المعادن كثافة نوعية أعلى ولون داكن نسبياً، ولونه رمادى فاتح أو رمادى مائل للاخضرار.

٣- نموذج من مجموعة الصخور القاعدية: تتركب أساساً من معدن البيروكسين (الأوجيت) والبلاجيوكلاز ويضاف إلى ذلك معدن الهورنبلند ثم معدن الأوليفين بنسبة أقل وتكسب المعادن الداكنة الصخور ألوانها الداكنة. ومن أمثلتها :

الجابرو: صخر جوفى كامل التبلور يتكون أساساً من معادن البلاجيوكلاز والبيروكسين (الأوجيت). والجابرو صخر يميل لونه إلى السواد مع الاخضرار الخفيف، ونسيجه متجانس الحبيبات خشن أو متوسط.

البازلت: صخر سطحى أى أنه نشأ من البراكين وتكون فوق سطح الأرض. ونظراً لبرودة المادة المنصهرة بسرعة نجد أن بلوراته دقيقة جداً زجاجية المظهر تكتنفها بعض البلورات الصغيرة من معدن الأوجيت والبلاجيوكلاز والأوليفين، لونه أسود وأحياناً مائل للاخضرار.

٤- نموذج من مجموعة الصخور فوق القاعدية: يدخل فى تركيب هذه المجموعة معدنان رئيسيان هما الأوليفين، والبيروكسين. وتتميز بكثافتها النوعية العالية (٣,٣) وهى صخور جوفية عميقة كاملة التبلور. ومن أمثلتها:

البيريدوتيت: يتركب من معدن الأوليفين وكمية ضئيلة من البيروكسين. لونه أخضر داكن أو أسود وتسود فيه بصفة عامة المعادن المغنسيوحديدية.

ثانياً: الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

تترسب الصخور الرسوبية فى هيئة طبقية أى طبقة فوق أخرى على سطح الأرض عند درجات حرارة وضغوط منخفضة نسبياً. وتدفن كل طبقة من الصخور الرسوبية على عمق أكبر كلما ترسبت فوقها طبقات متتالية، وكلما استمر الترسيب لمدة طويلة دون انقطاع فإن الرواسب قد تدفن على أعماق كبيرة. وقد أثبتت الدراسات الاستراتجرافية أن الصخور الرسوبية قد تتراكم حتى يبلغ سمكها عدة آلاف من الأمتار. وكلما استمر الترسيب فإن كل طبقة تتعرض بالتالى بصفة مستمرة إلى ضغط وحرارة متزايدين. وتقاسى الرواسب المدفونة على أعماق كبيرة من ظروف فيزيوكيميائية تختلف تماماً عن تلك الظروف الكائنة عند السطح حيث ترسبت، ويحدث تغيير فى نسيج وتركيب هذه الصخور كنوع من التحول منخفض الدرجة والذى بناء عليه تتدرج هذه الصخور الرسوبية إلى صخور متحولة خاصة فى الأحواض الچيولوچية الكبيرة Geosyncline.

وتتصف الصخور الرسوبية بصفة الطباقية Stratified وبوجود الحفريات بها، وهاتان الصفتان تميزها إلى حد ما عن الصخور الأخرى النارية والمتحولة. إلا أن هاتين الصفتين لا تعتبران دليلاً كافياً عن النشأة الرسوبية للصخور، ذلك لأن خاصية الطباقية كثيراً ما تكون ناشئة أو موروثة فى كثير من الصخور النارية والمتحولة. وكذلك فإن وجود الحفريات أو عدم وجودها لا يعتبر دليلاً ثابتاً على النشأة الرسوبية، صحيح أن الحفريات توجد بوفرة هائلة فى كثير من الصخور الرسوبية ولكنها تختفى تماماً فى العديد من الأنواع الرسوبية الأخرى، كما توجد حفريات فى بعض الصخور النارية الفتاتية والصخور المتحولة. ولذلك يحسن التفرقة بين الصخور الرسوبية والصخور الأخرى المشابهة لها والتى تنتمى إلى الصخور النارية والمتحولة على أساس الخواص المختلفة لها من حيث التركيب المعدنى والنسيج بالإضافة إلى الصفتين السابقتين الطباقية والحفريات، فهذه الخواص تسجل صورة صادقة للبيئة التى انجبت ذلك الصخر الرسوبى.

العوامل المكونة للصخور الرسوبية:

تتكون الصخور الرسوبية بصفة عامة بثلاث طرق مختلفة. فيتكون بعضها بطرق ميكانيكية نتيجة تراكم المفتتات الصخرية والمعدنية، وبعضها الآخر يترسب بطرق كيميائية، والثالث بيولوجى (عضوى) الأصل. ومعظم الرواسب الميكانيكية مثل الطين والرمل والحصى تعتبر من نواتج النحت والتجوية على السطح. ويتألف هذا النوع من حطام الصخور الأقدم بعد تحللها وتفتتها ثم تنقل وترسب بفعل الماء أو الجليد أو الهواء. وتسمى هذه الرواسب بالرواسب الفتاتية، ويتضمن أغلبها الحجر الرملى والحجر الطينى، وهى تتركب أساساً من الكوارتز ومعادن السيليكات. وتتركب الرواسب المترسبة بطرق كيميائية أساساً من الكربونات والكبريتات والسليكا والفوسفات والهاليدات، وتنشأ كل هذه الأنواع تقريباً بالترسيب الكيميائى داخل المياه السطحية وهى لا تنتج عن عملية واحدة، إذ يحدث الترسيب أما بصورة مباشرة عن طريق البخر بتفاعل كامل غير عضوى بين الأملاح الذائبة، وإما بصورة غير مباشرة عن طريق الكائنات الحية وتسمى فى هذه الحالة بالصخور الكيميائية العضوية، وقد يعتبرها البعض

صخور عضوية فقط. أما الصخور العضوية الأصل فهى صخور المرجان وطبقات الأصداف المتماسكة، والدياتوميت وراقات الفحم.

وتتحدد الخصائص المميزة للصخر الرسوبى بالظروف التى نشأ فيها وتجمع ثم تحجر، وكذلك التغيرات التى تصيبه بعد الترسيب وتتناول تركيبه ونسيجه. وفى حالة المواد الفتاتية فإن تأثير الصخور الأصلية التى اشتقت منها المفتتات وكذلك طريقة النقل لها أهمية خاصة فى دراسة الصخور الرسوبية الميكانيكية. ولذلك يحسن توضيحها قبل الحديث عن خصائص وأنواع الصخور الرسوبية.

١- الصخور الأصلية (المصدر):

تتحكم صخور المصدر بدرجة كبيرة فى تركيب الرواسب الفتاتية التى تنشأ منها. فالحجر الرملى البركانى نشأ حتماً من صخور بركانية، والحجر الرملى المكون أساساً من فلسبار وكوارتز نشأ من صخور فلسبارية خشنة. ولا تنشأ هذه المفتتات المكونة للصخور إلا إذا كانت تلك الصخور ظاهرة على سطح الأرض فى منطقة المصدر. ويمكن أن يرشد معدن مميز فى راسب ما إلى المصدر الأصلى الذى نشأ منه. مثل معادن الزركون والروتايل فى الرمال السوداء بمنطقة رشيد التى تشير إلى أن مصدرها صخور هضبة الحبشة. وبصفة عامة فإن تركيب أى راسب فتاتى يعكس ملامح المصدر.

وفيما بين الصخر الأصلى (المصدر) والصخر الرسوبى النهائى تتغير كثير من المعادن أو تتحلل كلها بحيث يتغير التركيب المعدنى تماماً الذى كان يميز الصخور الأصلية. فقد تتحلل بعض المعادن الأولية أو قد تتغير نتيجة للتفكك قبل أن تنقل من منطقة المصدر بواسطة عوامل التجوية. فإذا كانت بيئة المصدر تسبب تحلل كيميائى شديد فإنه يحدث اتلاف انتخابى أو اختيارى للمعادن، وهذا يؤدى إلى تركيز نسبى للمعادن الأولية الثابتة مثل الكوارتز والمسكوفيت ضمن حبيبات الرمل، والمعادن الطينية ضمن الطين أو الصلصال. أما إذا كانت عمليات التفكك الميكانيكى هى السائدة فى بيئة المصدر فإن المفتتات الناتجة تشبه الصخر الأصلى من وجهة النظر المعدنية فتحتوى على

حبيبات معادن أولية ثابتة وغير ثابتة متفاوتة الأحجام تشمل الكوارتز والمسكوفيت والفلسبارات والسليكات الحديد ومغنسية بصفة أساسية.

ويمكن القول بصفة عامة أن عمليات التحلل الكيميائي تنشط في المناخات الحارة الرطبة والتي تتمتع بشبكة تصريف نهري جيدة وتتغطى بنباتات كثيفة، ويقل نشاطها في المناخات الأكثر برودة والأكثر جفافاً. والعلاقة بين الظروف المناخية والحيوية وطبيعة المفتتات يتخطاها في العادة السرعة النسبية للتعرية. فكل عمليات التفكك والتحلل بطيئة، ولكن ازاحة أو نقل المواد المفككة والمتحللة بواسطة التعرية أو الجاذبية الأرضية تتم بسرعات متفاوتة وعندما تكون عوامل التعرية بطيئة والسطح خفيف الانحدار يتراكم على مكاشف الصخور الأصلية طبقة من المواد المفككة والمتحللة تكوّن بالتالي تربة ناضجة، وهنا يلاحظ أثر العامل المناخي والحيوي على ناتج التجوية. أما إذا كانت التعرية سريعة كما هي الحال في المناطق شديدة الانحدار والأقاليم غزيرة الأمطار، فإن نواتج التفتيت تنقل بمجرد فصلها عن كتلة الصخر ولا يسبق نقل هذه المواد الا تحلل بسيط. وفي مثل هذه الأحوال يقترب التركيب المعدني للراسب الفتاتي من تركيب الصخر الأصلي بصرف النظر عن المناخ. ويعين معدل التعرية إلى حد ما كمية المفتتات والمتحللات (الراسب) التي تصل إلى مناطق القرار في أي فترة زمنية محددة.

٢- النقل والقرار Transportation & Deposition:

في أثناء عملية النقل تتغير بصفة عامة المفتتات من حيث الحجم والشكل والاستدارة نتيجة عملية البري الذي ينتج عن الاحتكاك والاصطدام المتكرر للمفتتات بعضها ببعض وبصخور القاع. ومن ناحية أخرى فإن عملية الفرز Sorting (النقل الانتخابي) تؤثر في مجموع الناتج النهائي للحبيبات المجمعة بحيث تميل هذه الحبيبات إلى التجمع حسب الحجم والشكل والكثافة. ويلاحظ أثر هذه العمليات بوضوح في ملامح النسيج الصخري وفي التركيب المعدني . ففي مفتتات مكونة من أحجام مختلفة إذا ما فرز الرمل عن الطين كما يحدث عادة في عمليات الفرز الطبيعية، فإن مادة الطين تحتوي على تركيز نسبي لمعادن الطين (كاولينيت مونتموريلونيت، ألّيت) مع معادن ميكاوية أخرى مثل السريسيت والكلوريت، في حين أن الرمل يتكون معظمه اما

من الكوارتز فقط أو من الكوارتز مع كمية ضئيلة من الفلسبارات والسليكات الحديدومغنيسية.

ولعملية البرى أثر كبير فى الحبيبات الكبيرة التى تحمل لمسافات طويلة فى أسفل التيار، إذ تنحت حروفها الحادة وأسطحها البارزة بحيث تميل إلى أن تكون ذات أسطح مستديرة وناعمة وفى نفس الوقت تقل فى الحجم بعض الشيء. ويتوقف الأثر الفعال للبرى فى درجة استدارة وحجم الحبيبات على طريقة النقل ومسافته وكذلك على نوع المفتتات.

وعندما يترسب جزء من الرواسب الفتاتية التى يحملها التيار فى الطريق أثناء نقلها فإن الحبيبات الأكبر حجماً والأكثر ثقلاً تترسب أولاً، أما الحبيبات الصغيرة الخفيفة فإن كميتها تزداد بصورة مطردة كلما بعدنا عن المصدر الأصلى واقتربنا من منطقة المستقر النهائى. وبمعنى آخر فإن متوسط حجم الحبيبات فى الرواسب يقل كلما طالت مسافة النقل، ويطلق على هذه الظاهرة اسم الفرز المطرد. وأحياناً يوجد فرز محلى للراسب نتيجة لتغيرات محلية فى مكان واحد.

أما إذا تم النقل بواسطة الانزلاقات الأرضية أو البحرية أو تدفقات الطين أو التيارات العكرة ذات الكثافة العالية فإن نسبة كبيرة من الرواسب الفتاتية تنقل ككل تقريباً وترسب بدون انتخاب وتختلط بالرواسب المفروزة فى نظام متشابك. كما وينقل عامل الجليد أيضاً كتل من الرواسب الفتاتية بسرعة وبدون أى انتخاب، ومثل هذه المفتتات تكون رديئة أو معدومة الفرز.

أما المواد الذائبة فى الماء والتى تحمل على هيئة محاليل فانها تتحرك تحت سطح الأرض بنفس السهولة التى تتحرك بها فوقه. ومن الصعب إمكان ارجاع المواد المترسبة فى محلول ما إلى مصدر معين، كما أنه لا يمكن تتبع أية صفة وارجاعها إلى مؤثرات النقل، ولذلك فقد جرى العرف بين الدارسين على شرح مميزات الرواسب الكيميائية كنتيجة لبيئة الترسيب.

٣- بيئة القرار (الترسيب) Environment of Deposition :

يتميز الحوض البحرى عن كل البيئات الرسوبية الأخرى فى أنه أوسعهم وأطولهم بقاء أو عمراً فقد رسبت فيه أقدم الرسوبيات، وما زال يتراكم فيه الجزء

الأكبر من الرواسب الحديثة، وبالإضافة إلى هذا فإنه المستودع النهائى لكل راسب. وهناك أحواض ترسيب واسعة الانتشار فوق القارات، وكذلك هناك رواسب قد رسبت مؤقتاً فى مناطق قارية ولكنها فى طريقها الآن إلى البحر. ويمكن تمييز ثلاث بيئات ترسيبية رئيسية: هى المحيطات والقارات والمناطق الهامشية بينهما. وتشتمل كل بيئة من هذه البيئات بدورها على أقسام محلية لها مميزاتها وتغيراتها الخاصة التى تحدد نوع الراسب، ولهذه التقسيمات البيئية أهمية خاصة فى تحديد نسيج وتركيب الرواسب. وكذلك هناك عوامل هامة تحدد القوى البيئية التى على أساسها يجرى تقسيم بيئات الترسيب. والعوامل البيئية التى تحدد بيئات الترسيب على اليابس هى المناخ والنبات والتضاريس. أما عوامل البيئة المائية فتشمل عمق المياه ودرجة الحرارة ودرجة الملوحة والحموضة ودرجة صفاء المياه والمحتوى العضوى من الكائنات الحية. وهذه العوامل التى تؤثر على طبيعة الرواسب هى التى أدت إلى تقسيم بيئات الترسيب إلى بيئتين رئيسيتين هما بيئة اليابس وبيئة الماء وبيئة ثالثة تقع بينهما.

وتشتمل بيئة اليابس (القارات) على بيئات فرعية، فترسب بعض الرواسب فى الماء فوق القارات ويطلق عليها قرارات (بيئات) مائية، وهى أساساً ثنائية أى قارية مائية بل انها تشتمل أيضاً على بعض المواد العضوية. فهناك رواسب طميية أقرتها (رسبتها) الأنهار على طول مجاريها وعلى سهولها الفيضية وعلى مراوحها أو دلتاواتها. وهناك رواسب بحيرية أو مستنقعية. وهناك رواسب نقلت وأقرت بواسطة الرياح مثل الكثبان الرملية واللويس، ورواسب أخرى أقرت بواسطة الجاذبية الأرضية على هيئة رواسب السفوح مثل التالوس Talus وأخيراً هناك بقايا الصخور الأصلية التى لم تنقل من مكانها بل كونت غطاء رقيقاً فوق الصخر الأصلى التى اشتقت منه بعمليات التفكك والتحلل. أى أن بيئة القارات تشمل بيئة مائية نهرية أو بحيرية أو مستنقعية وبيئة ريحية وبيئة انزلاقية.

والبيئة البحرية مائية تماماً ولذلك فهى أقل تبايناً عن البيئة القارية (اليابس) ولكن تنوع الرواسب الناتجة عظيم. فبالإضافة إلى الرواسب الفتاتية فإن هذه البيئة تنتج الغالبية العظمى من الرواسب الكيميائية، كما أنها البيئة الرئيسية للكائنات التى ينتج عنها معظم الرواسب العضوية ذات الأصل الكلسى

أو الجيرى. وتقسم البيئة البحرية عادة طبقاً لعمق الماء إلى النطاقات التالية: منطقة ما بين المد والجزر – المنطقة الضحلة، المنطقة العميقة، المنطقة سحيقة الأعماق. وتتوقف مساحة هذه النطاقات وعلاقاتها بالشاطئ على الخواص الهندسية للحوض التى تشمل حجمه وشكله وتعرجات سواحله وتضرس قاعه. وبصفة عامة فإن الرواسب الفتاتية الخشنة والكائنات ذات الأصداف الثقيلة تتراكم فى المياه الضحلة وفى منطقة ما بين المد والجزر حيث طاقة الأمواج تؤثر فى كل من القاع والشاطئ. وتستطيع التيارات القوية أن تحمل المواد الدقيقة التى تتراكم بجوار الشواطئ إلى مناطق أعمق داخل البحر. أما الرواسب العضوية والكيميائية النقية فتتراكم فى الأماكن المحمية من الرواسب الأرضية. فإذا كانت الظروف مناسبة لنمو الكائنات العضوية أو للترسيب الكيميائى، فإن الرواسب تكون عضوية وكيميائية بالإضافة إلى التراكمات الفتاتية المستمدة منها، وهذه المناطق تكون ضحلة وكذلك عميقة. أما إذا جرفت عوامل التعرية مفتتات من اليابس إلى داخل الحوض البحرى فإن المواد العضوية والكيميائية اما أن تختلط بهذا الركام الفتاتى أو أن يطغى هذا الركام عليها، ولا تمثل تلك المواد إلا أجزاء بسيطة. ويؤدى سكون المياه وعدم حركتها فى الأجزاء الضحلة المحمية من الحوض المائى البحرى إلى تركيز الأملاح نتيجة للتبخر حتى أن الأملاح شديدة الذوبان تترسب مما يعطى رواسب تعرف فى مجموعها بالمتبخرات Evaporites، ونادراً ما تحتوى على أى مواد عضوية ولكن يحتوى معظمها على بعض الرواسب الفتاتية التى تختلط بالراسب الكيميائى. وتتوقف أنواع الأملاح المترسبة على مصدر ماء الحوض وتركيبه الأصلى ودرجة الحرارة والضغط. وأكثر الأملاح شيوعاً هى الملح الصخرى وكبريتات الكالسيوم من جبس وانهيدريت.

والرواسب الفتاتية فى البيئة البحرية متغيرة فى درجة فرزها، فهناك رواسب جيدة الفرز تحتوى على حبيبات ذات أحجام متساوية تقريباً، كما أنها هناك رواسب رديئة الفرز أو غير مفروزة على الإطلاق وتحتوى على حبيبات متفاوتة فى حجمها تفاوتاً كبيراً. وتدل الرواسب غير جيدة الفرز على أنها أرسبت بسرعة فى الحوض دون أى اختيار يذكر.

هذه بعض أمثلة توضح ملامح أو مميزات الصخور الرسوبية اعتماداً على بيئة القرار. ولكن عند محاولة التعرف على تاريخ راسب قديم عن طريق تفسير بعض المميزات مثل التركيب والنسيج فإن النتائج تكون غير مؤكدة ومبهمة، ولذلك يعتمد على دراسة الحفريات التى تدل دلالة مباشرة على البيئة القرارية بشرط أن تكون قد دفنت دون نقلها من المنطقة التى عاشت وماتت فيها. فقد تحمل التيارات السفلى فى البيئة المائية البقايا العضوية من الأجزاء الضحلة إلى أجزاء أخرى أكثر عمقاً من بيئتها العادية. وكذلك فإن بعض الكائنات التى تتحرك بحرية أثناء حياتها قد تسقط بعد موتها إلى القاع حيث تدفن فى رواسب متنوعة فى بيئات مائية مختلفة. فوجود فورامنيفرا فى صخر رسوبى يشير إلى بيئة بحرية ولكنها تدرس للاستدلال على نطاقات العمق وظروف قاع الحوض البحرى.

التغير المابعدي Diagenesis:

يتأثر كل من نسيج وتركيب الصخور الرسوبية بالتغيرات التى تحدث للرواسب بعد ارسابها (اقرارها). وإذا حدثت هذه التغيرات عند درجات حرارة منخفضة أطلق عليها مصطلح التغير الما بعدى؛ وتحدث هذه التغيرات فى المكان الأصلى للترسيب وفى نفس الوقت تقريباً. وعلى سبيل المثال فإن معدن الجلوكونيت يعتبر معدناً ما بعدياً إذ يتكون فى الرواسب وهى ملقاة على قاع البحر قبل دفنها. وقد يعاد تبلور كربونات الكالسيوم المترسبة بسرعة إلى أراجونيت. وفى بعض البيئات البحرية قد يبدأ المونتموريلونيت فى التغير إلى الأليّت أو الكلوريت بمجرد ترسبه على القاع. ومثل هذه التفاعلات تشبه إلى حد ما التغيرات التى تلى الترسيب فى البيئات القارية المعرضة للتحلل الكيميائى قبل دفنها. والتفاعلات التى تحدث أثناء التغيرات المابعدية المبكرة تحفزها الكائنات العضوية خاصة البكتريا وكائنات قاع البحر التى تقطن الطين وخاصة الجزء العلوى منه. وكلما طال بقاء الرواسب قبل دفنها وطال تعرضها لنشاط الكائنات الحية التى تعيش فيه زادت فاعلية التفاعلات فى أثناء التغير المابعدى.

وهناك تغيرات تحدث بعد الترسيب بزمن طويل تعرف بالتغير المابعدى المتأخر، وتحدث بعض هذه التفاعلات بعد دفن الرواسب. وإذا ما حدثت على

أعماق كبيرة تحت السطح فإن الضغوط ودرجات الحرارة تكون أعلى من تلك التى توجد عند السطح وعندئذ تتدرج التغيرات المابعدية إلى التحول، وقد يكون الزمن الذى تستغرقه مثل هذه التفاعلات طويلاً جداً. وتشمل العمليات التى تحدث أثناء التغير المابعدى كل من الادماج Compaction والاذابة Disolve والاحلال Replacement والنشأة المكانية Authigenesis. ويحدث الادماج عند دفن الرواسب حيث تتضاغط الحبيبات الصلبة للرواسب نتيجة لثقل المواد التى تعلوها. ونتيجة لذلك فإن السوائل التى كانت تملأ المسام تطرد إلى أعلى خلال الرواسب. والحقيقة أن الماء خاصة فى البيئات البحرية والبحيرية لا يمكن أن يزاح تماماً بعملية الإدماج وحدها، ولكن يبقى بعض منه كجزء لا يتجزأ من الرواسب. وعند بقاء بعض الماء فإنها تشكل الوسط الذى يحدث فيه التغيرات الكيميائية أثناء التغير المابعدى.

ويذاب جزء من المادة الأصلية من معظم الرواسب فى أثناء التغير المابعدى، وإذا ما أعيد ترسيب المادة المذابة كما يحدث عادة فقد يشار إليها بإعادة تبلورها ويكون أثر ذلك واضحاً فى نسيج الصخر فقط. فتحتوى مثلاً الصخور الكربوناتية على عروق نتجت بفعل الإذابة. وتميل عملية الإذابة داخل الطبقات إلى محو معادن غير ثابتة فى الرواسب القديمة وبالذات السليكات الحديدومغنيسية التى تتكون فى درجات الحرارة العالية. فالأوليفين والبيروكسين لا تكثر إلا فى الرواسب الحديثة نسبياً وتكاد تختفى فى الرواسب القديمة لأنها ذابت أثناء عمليات التغير المابعدى.

والمعادن التى تثبت فى بيئة التغير المابعدى كثيراً ما يعاد تبلورها داخل الراسب، وبذلك تضاف إلى الرواسب الأصلية وتسمى هذه العملية بالنشأة المكانية، وأكثر المعادن شيوعاً التى تكونت بهذه الطريقة معادن الكربونات والسليكا. وإحلال المعادن الأصلية بواسطة معادن مختلفة مكانية النشأة هو فى الواقع نوع من التحول المعدنى المنخفض الحرارة الذى قد يغير تركيب الصخر الرسوبى بشكل ملحوظ. ومن المحتمل أن تكون أوسع التغيرات انتشاراً قد حدثت فى الصخور الجيرية التى حل محلها الآن الدولوميت والصوان.

وأوضح نواتج التغير المابعدى هو التصلد Consolidation، فبعض الرواسب التحمت Cemented أما نتيجة ترسيب كمية كبيرة من مادة جديدة داخل

الفراغات بين الحبيبات الأصلية، أو نتيجة اعادة تبلور للمترسبات الكيميائية الأصل فى أثناء عملية الدمج. وهناك ترسبات أخرى تحجرت (تصلدت) بالضغط، فالدموج الشديد لمادة الطين يعطى تجمع شديد التماسك. ويطلق على كل من الالتحام وتداخل الحبيبات بالضغط اصطلاح اللحام.

ويكون تأثير التغير المابعدى أكثر وضوحاً وأكثر كمالاً فى بعض الصخور عن الأخرى ويمكن القول أن أكثر المواد استجابة للتغير المابعدى هى الطين والكربونات والأملاح الأكثر ذوباناً ضمن المتبخرات.

تركيب وتصنيف الصخور الرسوبية:

تتكون الصخور الرسوبية من نوعين من المواد الرسوبية: الأول مواد مصدرها صخور أقدم وهى تشمل إلى جانب المعادن الأولية للصخور الأصلية نواتج التحلل غير القابلة للذوبان مثل معادن الطين، والثانى مواد نتجت بالتبلور فى البيئة الرسوبية. وبمعنى آخر يتكون النوع الأول من معادن نشأت خارج منطقة الارساب ثم نقلت اليها كحبيبات صلبة ثم ارسبت ميكانيكياً، وتوصف هذه المكونات بأنها منقولة أو فتاتية. أما النوع الثانى فيتكون من معادن مكانية أو محلية وتشمل المكونات الرئيسية للرواسب الكيميائية والعضوية والمادة الأسمنتية اللاحمة للحبيبات فى الرواسب الفتاتية.

ومعظم الصخور الرسوبية عبارة عن خليط من مكونات منقولة وأخرى مكانية النشأة. ويطلق على كثير من الصخور مسميات توضح أنها عبارة عن خليط، فمثلاً الحجر الجيرى الرملى أو الحجر الرملى الجيرى يشير إلى خليط من السليكات المنقولة وكربونات الكالسيوم أو الكالسيت محلية النشأة، وكذلك الحجر الجيرى الطينى أو الطفل الجيرى. ومع ذلك فهناك بعض الصخور المركبة ليست لها أسماء مركبة مثل المارل الذى يتكون من خليط من الطين والكالسيت بكميات متساوية تقريباً. وكذلك البورسيليديت الذى يتكون من خليط من السليكا المحلية ومادة طينية منقولة مع بعض الكالسيت. ونظرياً يمكن تصور عدد كبير من الخلطات المختلفة، ولكن معظم الصخور الرسوبية الشائعة عبارة عن مزيج من أربعة أنواع فقط تتدرج فى مجموعتين هى :

١- مكونات منقولة:

(أ) حصى، وحصباء ورمل وهى حبيبات فتاتية كبيرة الحم نسبياً تتكون أساساً من الكوارتز ومن المعادن السليكاتية الشائعة الأخرى المكونة للصخور.

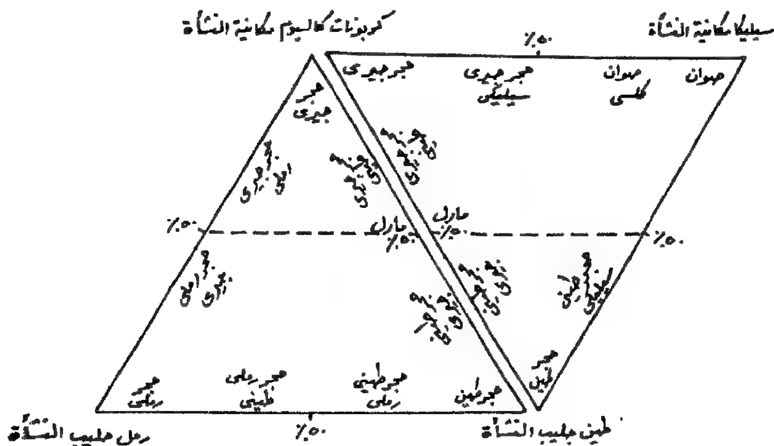
(ب) غرين، طفل، صلصال وهي حبيبات فتاتية دقيقة تتكون أساساً من معادن الطين ولكنها تحتوى عادة على معادن صفائحية أخرى دقيقة الحبيبات مثل السريسيت والكلوريت ومن حبيبات متناهية في الدقة من الكوارتز.

٢- مكونات محلية النشأة :

(أ) كربونات الكالسيوم، وهي أساساً كالسيت ودولوميت وانكارايت.

(ب) صوان وهو سليكا مترسبة على شكل أوبال أو كالسيدونى.

ويمكن وصف تركيب الصخور الرسوبية الشائعة بدلالة هذه الأنواع الأربعة. ويعد كل نوع كمكوّن طرفي يمكن أن يمتزج مع آخرين بأية نسبة. وتتكون بعض الصخور الرسوبية مثل الصوان النقى والحجر الجيرى والرمل والحجر الطيني من مكون طرفي واحد فقط، لكن الصخور ذات التركيب المختلط هي الأكثر انتشاراً وتصنف حسب مكوناتها الرئيسية. وليست هناك حدود واضحة بين الأنواع المختلفة من الرواسب، لذا فإن كل تصنيف للصخور الرسوبية هو بالضرورة تصنيف تقريبى. ويوضح هذه الحقيقة شكل (٤٠).



شكل (٤٠)

تركيب الصخور الرسوبية الشائعة بدلالة المكونات جليبية النشأة (المنقولة) والمكونات مكانية النشأة (المحلية)

يلاحظ من الشكل عدم وجود حدود فاصلة نظراً للصفة الاختيارية لكل المسميات، فالصخور المنقولة الفتاتية خليط من الرمل والطين وتقع عند الخط الأسفل من الشكل، أما الصخور الكيميائية والعضوية محلية النشأة فخليط من كربونات الكالسيوم والسليكا وتقع عند الخط العلوى. وتمثل المساحة المتوسطة الرواسب الأكثر شيوعاً وهى خليط من المواد المجلوبة والمكانية. والخط الفاصل بين الصخور الكيميائية من ناحية والصخور الفتاتية من ناحية أخرى يجب أن يكون خط أفقى يمر بوسط الشكل، بمعنى أن الصخور التى تحتوى على أكثر من ٥٠ ٪ مواد منقولة تعتبر فتاتية والصخور التى تحتوى على أقل من ذلك كيميائية أو عضوية.

ويمكن تغيير أطراف الشكل كله أو أحد المثلثين حسب المكونات الرئيسية للحوض الرسوبى. ويجرى التعرف على الأنواع الرسوبية بنفس الطريقة فيمكن وضع الحصى بدلاً من الطين والمتبخرات بدلاً من كربونات الكالسيوم أو الفوسفات بدلاً من السليكا وهكذا.

وجود وثبات المعادن فى الرواسب :

تتعرض كثير من المعادن المكونة لصخور المصدر طوال فترة التجوية والنقل والتغير المابعدى لعوامل التحطيم والتحلل والفناء. ولذا فإن وجود معدن ما فى الصخور الرسوبية كمعدن منقول يعنى أن هذا المعدن يوجد فى منطقة المصدر ولم يتأثر بعملية الترسيب. وكثير من المعادن المكونة للصخور الشائعة غير ثابتة ولذلك فهى غير شائعة فى الصخور الرسوبية حتى الفتاتية منها. ويطلق على المعادن التى تبقى دون أن يطرأ عليها أى تغير بفعل العمليات الرسوبية أنها ثابتة، ولكن الثبات بهذا المعنى نسبى لأنها تقاوم التحطيم بدرجات متفاوتة. وعند محاولة تقسيم المعادن إلى ثابتة وغير ثابتة نجد فى أحد الطرفين معادن مثل الكالسيت والأوليفين تذوب وتتحلل بسهولة تحت بعض الظروف السطحية وتحت السطحية السائدة على القشرة الأرضية، وفى الطرف الآخر معادن الكوارتز التى تقاوم كل تغير فى بيئات الترسيب، وبين هذين الطرفين يوجد العديد من المعادن ذات درجات ثبات متوسطة.

ويمكن القول أن فى مجموعة معادن سيليكات الحديد ومغنسيية المكونة للصخور النارية يتحلل معدن الأوليفين بسهولة يليه فى ذلك البيروكسينات فالهورنبلند فالميكا بنفس الترتيب الذى تتبلور فيه البلورات من الماجما عند التكون. ومن بين الفلسبارات فإن تلك الأنواع الغنية بالكالسيوم تتحلل بسهولة أكثر من الفلسبارات الغنية بالقلويات. وبمعنى آخر أن سلسلة تتابع الثبات بين المعادن شبيهة بالتتابع التفاعلى المجماتى، فالسيليكات النارية التى تتبلور فى نهاية سلسلة التبلور أى تحت درجات الحرارة المنخفضة هى الأكثر ثباتاً فى الصخور الرسوبية. وقد حاول كثير من الدارسين ترتيب ثبات المعادن المكونة للصخور فى تتابع عام للتعبير عن درجة مقاومتها النسبية تجاه التحطيم بواسطة عمليات الترسيب، ولكن من الخطأ افتراض بقاء هذا التتابع تحت كل الظروف. فالكالسيت على سبيل المثال يتحلل بالذوبان بسهولة خلال عمليات التجوية الكيميائية فى المناطق الحارة الرطبة ولكنه لا يتحلل بسهولة فى المناطق الجافة الصحراوية، والكاولينيت من بين معادن الطين التى تكونت بالتجوية يكون ثابتاً تحت الظروف الحمضية، فى حين أن المونتموريلونيت يكون ثابتاً تحت الظروف القلوية وهو من معادن الطين أيضاً، ولكن كليهما يميل إلى التغير ببطء شديد إلى الأليت والكلوريت خلال عمليات التغير المابعدى فى البيئة البحرية. وفى الحقيقة فإن درجة الثبات النسبى للمعادن فى البيئات المختلفة غير معروفة بدقة ولكن بصفة عامة تختلف درجة الثبات فى البحار عنها فى المياه العذبة أو عالية الملوحة، ومن المحتمل أيضاً أن يختلف تتابع الثبات فى كل منها على حده.

ويمكن تصنيف المعادن الأكثر شيوعاً فى الصخور الرسوبية فى المجموعتين التاليتين:

١- مجموعة المعادن غير الثابتة: وتنقسم بدورها إلي قسمين :

(أ) معادن نادرة الوجود وإن وجدت فهى محلية النشأة وتميل هذه المعادن إلى أن تتحطم أو تتحلل خلال أى من أو كل مراحل الدورة الرسوبية بواسطة التجوية أو النقل أو التغير المابعدى. وهذه المعادن مرتبة حسب ازدياد

درجة ثباتها على النحو التالى: (الأوليفين – البيروكسين – البلاجيوكلاز – الهورنبلند – الأوليجوكلاز – الماجنتيت – الالمنيت – الجارنت).

(ب) معادن عادة ما توجد محلية النشأة وهذه المعادن ثابتة خلال عملية التغير المابعدى أو بمعنى آخر تميل هذه المعادن إلى مقاومة التحلل إذا ما أقرت فى راسب ولكنها تميل إلى أن تتحطم بالتجوية وبالنحت ولذلك يجب وضعها كمعادن غير ثابتة إذا ما كانت فتاتية. والمعادن الأكثر شيوعاً مرتبة حسب ازدياد درجة ثباتها هى : (الجبس والكربونات بأنواعها – الجلوكونيت – الكلوريت – الألبيت – الأورثوكلاز – الميكروكلين).

٢- مجموعة المعادن الثابتة:

وهى المعادن التى تقاوم التحطيم خلال كل مراحل الدورة الرسوبية وتتواجد كمكونات فتاتية ومحلية النشأة. والمعادن الشائعة فى هذه المجموعة هى: (الكوارتز – الصوان – معادن الطين – المسكوفيت – التورمالين – الروتايل). ويوجد الكوارتز بكميات وفيرة فى الصخور الرسوبية وهو المكون الرئيسى للحجر الرملى يليه معادن الطين الكاولينيت والمونتموريللونيت وهى المكونات الرئيسية للرواسب الطينية، ثم الكربونات كالكالسيت والدولوميت ثم السيليكا فى صورة صوان.

تسمية الصخور الرسوبية الفتاتية حسب حجم الحبيبات :

تقسم الصخور الرسوبية الفتاتية على أساس حجم الحبيبة الفتاتية الذى يمثل خاصية هامة يمكن رؤيتها إلى: جلاميد وحصى وحصباء ورمل وغرين (طفل) وطين (صلصال). وقد أعطيت هذه التقسيمات تعريفات كمّية كما يبينها الجدول التالى.

جدول رقم (١٦)

تصنيف المفتتات الرسوبية على أساس الحجم(*)

اسم الجزئيات			قطر الحبيبة
	جلاميد	Boulders	أكبر من ٢٥٦ ملليمتر
حصى	حصى خشن	Cobbles	٢٥٦ - ٦٤ ملليمتر
	حصى	Pebbles	٦٤ - ٤ ملليمتر
	حصباء	Gravel	٤ - ٢ ملليمتر
رمل	رمل خشن جداً	Coarse Sand	٢ - ١ ملليمتر
	رمل خشن	Sand	١ - ٠,٥ ملليمتر
	رمل متوسط الخشونة	M. Sand	٠,٥ - ٠,٢٥ ملليمتر
	رمل دقيق	Fine Sand	٠,٢٥ - ٠,١٢٥ ملليمتر
	غرين	Silt	,١٢٥ - ٠,٠٥٠ ملليمتر
	طفل	Shale	,٠٥٠ - ٠,٠٠٥ ملليمتر
	صلصال	Clay	أقل من ٠,٠٠٥ ملليمتر

وقد نشأ من هذا التقسيم مجموعة المصطلحات المتداولة: كونجلوميرات، حجر رملي، حجر غريني، حجر طيني. وتسمى مجموعة مفتتات ذات حجم رملي بالرمل وعند تصخرها بالحجر الرملي. ولكي يسمى الحجر الرملي أو المفتتات الرملية بهذا الاسم يكفي أن تحتوي على ٥٥٪ رمل، ١٥٪ غرين ٣٠٪ طفل أو صلصال. أما إذا كان أكثر من ٢٥٪ من الحبيبات ذات حجم أخشن من الرمل فالمجموعة المفككة تعرف بالحصى والصخور المتماسكة

(*) يعرف حجم الحبيبة بعدة طرق: بالحجم، بالقطر، بقطر فتحة المنخل حيث يمكن أن تنفذ خلاله، أو بسرعة الترسيب في السوائل. ومن الصعب تعريف أقطار الحبيبات غير المنتظمة وغير المستديرة لذا فإن مصطلح قطر الحبيبة يشير إلى متوسط قطرها.

تعرف بالكونجلوميرات أو البريشيا. وإذا كانت معظم مسميات حجم معظم المفتتات مجموعة أصغر من رمل وأخشن من طفل فإنها تدعى غرين أو حجر غرينى أما المفتتات ذات الحجم الأدق فإنها تكون طفل أو صلصال.

وتعتبر الرواسب التى تحتوى على عدد كبير من الدرجات الحجمية وبكميات متساوية تقريباً رديئة الفرز Poorly sorted أو عديمته. ومن ناحية أخرى تعتبر الرواسب التى تحتوى على نسبة كبيرة من درجة حجمية واحدة جيدة الفرز well sorted . وتتكون الرواسب رديئة الفرز تحت ظروف الترسيب السريع مثل الرواسب الجليدية حيث تختلط مفتتات صخور ذات أحجام مختلفة مع بعضها البعض. أما الرواسب جيدة الفرز فتتكون نتيجة النقل المستمر الطويل بالرياح أو المياه الذى يساعد على فصل الحبيبات تبعاً لأحجامها المختلفة. ويتم معرفة نسب الدرجات الحجمية بواسطة النخل أو الترسيب وتسمى هذه الطرق بالتحليل الميكانيكى.

شكل وكروية واستدارة الحبيبات الفتاتية Shape , Sphericity, & Roundness :

يقصد بالكروية شكل الحبيبة ودرجة قربها أو بعدها من الهيئة أو الشكل الكروى ويقصد باستدارة الحبيبة وضوح أو عدم وضوح زوايا حافاتها وأركانها. وتقسم الحبيبات حسب شكلها إلى: كروية الشكل وقرصية الشكل، صفائحية – قضيبية – منشورية – نصلية الشكل. وتقسم حسب درجة استدارتها إلى زاوية Angular وشبه زاوّية – مستديرة Rounded، وشبه مستديرة. وعلى الرغم من أن هاتين الخاصتين كثيراً ما يقع بينهما اللبس إلا أنهما واضحتان هندسياً، وليست بينهما علاقة على أساس معين. فالحبيبات التى لها نفس الشكل ربما يكون لها درجات مختلفة من الاستدارة وكذلك الحبيبات التى لها استدارة متماثلة ربما يكون لها أشكال مختلفة. وعلى سبيل المثال تكون بلورات الجارنت ذات الأثنى عشر وجهاً كروية الشكل بغض النظر عما إذا كانت حفاتها البين وجهية حادة الزوايا، أو أنها قد استدارت بالنحت. وربما يصبح منشور من الهورنبلند الذى كان أصلاً مكتمل النمو وحاد الزوايا، كامل الاستدارة بدون أن يفقد شكله المنشورى العام.

ومن الصعب تعيين كروية حبيبة ما إلا بقياس الأبعاد الثلاثة للحبيبة وهذا غير ممكن خاصة فى الصخور ذات الحبيبات الدقيقة. فإذا ما أخذت شريحة رقيقة من عينة صخرية فى أى اتجاه لدراسته فإن لكل حبيبة فى هذه الشريحة قطران فقط. وهذان القطران لا يدلان على شكل كروية الحبيبة انما يدلان على درجة استدارتها.

وتختلف أهمية صفة الاستدارة والكروية، فالكروية صفة موروثة إلى حد كبير فهى تعتمد على أشكال المعادن فى الصخور الأصلية أو على شكل ومظهر مكسرها، وهى قليلاً ما تتحلل أثناء النقل. وللكروية تأثير كبير على سلوك الحبيبة فهى تأثر فى سرعة ارسابها وطريقة نقلها فى التيار المائى كما تؤثر أيضاً فى النقل الاختيارى أو الانتخابى للحبيبات. وللاستدارة تأثير محدود فى سلوك الحبيبات ولكنها تعتبر مقياس لدرجة النحت والتآكل التى تتأثر بها الحبيبة أثناء النقل كما تبين مدى استعداد الحبيبات للنقل.

وتقسيم الرواسب حسب درجة استدارة حبيباتها لا يمكن تطبيقه فى الرواسب دقيقة الحبيبات جداً ذلك لأن الجسيمات الدقيقة لا تنحت بسهولة وتكون بذلك حادة الزوايا، ولكن يمكن تطبيق هذا التقسيم للرواسب الخشنة. فالبريشيا صخر فتاتى خشن يتكون من حبيبات زاوية والكونجلوميرات خشن أيضاً ولكن حبيباته مستديرة إلى حد ما. ومن بين مجموعة الصخور الرملية يعتبر الجريت Grit خشن الحبيبات زاوى. وبصفة عامة فإن درجة الاستدارة تعتمد على الحجم فالحبيبات الكبيرة أكثر استدارة من الصغيرة، كما تعتمد أيضاً على الوزن فالحبيبات الثقيلة نسبياً أكثر استدارة، وتعتمد أيضاً على ليونة المعدن فكلما زادت الليونة زادت قابلية المعدن للاستدارة التامة، فدرجة استدارة حبيبات الفلسبار أعلى من الكوارتز. وهناك عامل آخر يؤثر فى شكل واستدارة الحبيبات هو مسافة النقل إذ تساعد طول المسافة على الاستدارة إذا ما تساوت بقية الظروف. وكذلك لعامل النقل تأثير واضح فإذا نقلت حبيبات مسافة ما بالجليد أو بالرياح أو بالمياه نتجت فى حالة النقل بالجليد أقل الحبيبات استدارة وفى حالة النقل بالرياح أكثرها استدارة، أما النقل بالمياه فيعطى حبيبات

متوسطة. وتؤثر طبيعة عامل النقل على الاستدارة بطريقة أخرى تعتمد على لزوجته، فعندما ينقص حجم حبيبة ما فى الماء عن حجم معين يصبح تصادمها مع الحبيبات الأخرى أو بقاع النهر غير ممكن. ويعتقد أن استدارة الحبيبات التى تقل أقطارها عن ٠,٧٥ ملليمتر فى الوسط المائى غير ممكنة، ولذلك فالتغير فى درجة استدارة الحبيبات يتم بصورة فجائية عند هذا القطر. ولكن القوة الطاردة للتوتر السطحى المسبب لتباعد الحبيبات بعضها عن بعض وعدم تصادمها فى الماء عند هذا القطر تصبح صغيرة جداً فى حالة النقل بواسطة الهواء ولذلك يمكن أن تتصادم حبيبات قطرها أقل من ٠,٧٥ ملم. وبالتالى تتآكل وتستدير. وبهذه الخاصية يمكن التمييز بين الرواسب الهوائية والرواسب المائية بجانب الخواص الأخرى.

تماسك وتصلب الرواسب:

تكون الرواسب فى بدء تكوينها مفككة وهشة ورخوة أى غير متماسكة، ثم تتصلد بمرور الوقت وذلك نتيجة لعمليتين أساسيتين هما: التصلد بالضغط والتصلد باللحام. والتصلد بالضغط يعنى التصلد الناتج من الضغط الناشئ عن المواد المتراكمة أو عن الحركات الأرضية. ويعمل الضغط على طرد المياه الموجودة فى الرواسب إلى الخارج فتتماسك الحبيبات. ويحدث عند التعرض لضغط عال عند الأعماق الكبيرة تشويه للحبيبات وانصهار جزئى لبعض المعادن عند نقط تماس الحبيبات فتتماسك فى شكل موزيك أو شكل فسيفسائى. والصخور الطفلية دقيقة الحبيبات أكثر قابلية للتماسك بهذه الطريقة من الصخور الرملية الأكثر خشونة. أما التصلد باللحام فيعنى تماسك الحبيبات نتيجة ترسيب مواد لاحمة بينها. وتحمل المحاليل الجارية هذه المواد إلى الفراغات بين الحبيبات مثل محاليل السليكا وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم وأملاح الحديد. فترسب السليكا وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم بين الحبيبات كمادة لاحمة ملاطية اسمنتية تشبه تماماً المونة بين قوالب الطوب عند البناء. وقد تترسب المواد الحديدية بهذه الطريقة ولكنها تكوّن فى معظم الأحيان غشاء رقيقاً حول كل حبيبة ولهذا فهى تعتبر مادة لاحمة فعالة خاصة إذا ما كانت فى هيئتها

الغروية المتميئة. وقد تكون المادة اللاحمة مادة طفلية تكونت من تحلل الفلسبار الموجود فى الرواسب نفسها أو ترسبت مع حبيبات الرمل. كذلك قد تعمل الميكا التى ترسبت أصلاً أو تكونت بعد ذلك نتيجة لعمليات التحلل كمواد لاحمة. وعلى ذلك فمعظم المواد اللاحمة تكون محلية النشأة.

وعلى العموم تعمل عمليات الضغط واللحام على تصلد وتماسك الرواسب فيتحول الصلصال والطفل والغرين بالضغط إلى حجر طينى أو طفل صفائحى. ويتحول الرمل والحصى الخشن والجلاميد باللحام إلى حجر رملى وكونجلوميرات وبريشيا.

وصف بعض الصخور الرسوبية:

أولاً: الأحجار الرملية:

الأحجار الرملية عبارة عن رواسب فتاتية تحتوى على وفرة من حبيبات ذات أحجام رملية وغرينية. وتتباين بين الأحجار الرملية النقية وأحجار رملية تختلط بها كمية من حبيبات الغرين والطفل. وتوجد المعادن محلية النشأة على هيئة مادة لاصقة مترسبة بها. وتصنف الأحجار الرملية على أساس مكوناتها الفتاتية فقط، ولكن تعطى المادة اللاصقة الصفة الثانية المناسبة للصخر. والمادة اللاصقة الأكثر شيوعاً هى المواد الجيرية والسيليكية.

وتقسم الأحجار الرملية إلى نوعين أساسيين على أساس درجة الفرز: الأول الحجر الرملى النقى أو القريب من النقاء ويسمى الارنيت Arenite. وهو حجر رملى جيد الفرز ولا يحتوى على الطين أو يحتوى على كمية قليلة منه. أما النوع الثانى فهو خليط معدوم أو ردئ الفرز من المواد الفتاتية ويسمى الواكى Wacke. وقد تراكم الارنيت بطريقة اختيارية وببطئ بعد أن غسلته التيارات المائية جيداً، فى حين أن الواكى قد تراكم فى حوض الترسيب بسرعة وبدون أى انتخاب للمكونات، ولا حتى اعادة تشغيلها بعد الترسيب. وهناك أنواع متدرجة تقع بين الأرنيت والواكى.

وتصنف الأحجار الرملية على أساس الكمية النسبية لكل من المكونات الثابتة وغير الثابتة. فبعض الأحجار الرملية تحتوى على مكونات ثابتة مثل الكوارتز والكوارتزيت والصوان بجانب قليل من المعادن الاضافية مثل المسكوفيت والزركون والروتايل والتورمالين. وتتميز مثل هذه الأنواع بمقاومتها للتغيرات المعدنية التى تطرأ على تركيبها أثناء عمليات الترسيب. وهناك أنواع من الأحجار الرملية تحتوى على كثير من المكونات غير الثابتة ومن أكثرها شيوعاً الفلسبارات وقليل من معادن الحديد المغنيسية مثل البيروكسين والهورنبلند. واستمرار بقاء المعادن غير الثابتة داخل هذه الصخور يرجع إلى كونها ارسبت سريعاً كما فى المناطق ذات التضاريس العالية والنشاط التكتونى الواضح.

وعلى ذلك فالتصنيف الأساسى للأحجار الرملية يتكون من الأنواع الرئيسية الآتية :

١- الأحجار الرملية جيدة الفرز أو الارنيت، وتنقسم إلي:

(أ) أرنيت يحتوى على كمية كبيرة من المكونات غير الثابتة ويعرف بالأرنيت الأركوزى أو الفلسبارى.

(ب) أرنيت يتكون أساساً من مكونات ثابتة ويعرف بالأرنيت الكوارتزى.

٢- الأحجار الرملية رديئة الفرز أو الواكي، وينقسم إلي :

(أ) واكى يحتوى على وفرة من المكونات غير الثابتة مثل الواكى الأركوزى(*) والجراى واكى(**) Arkose & Grey Wackes.

(*) الأركوز: حجر رملى يحتوى على الكوارتز وكمية من حبيبات الفلسبار تقدر بأكثر من ٢٥ ٪، ومعادن أخرى مثل الميكا التى توجد بكمية أقل، أما تلك التى تحتوى على أقل من ٢٥ ٪ فلسبار فتسمى حجر رملى فلسبارى. ويشير الأركوز إلى ظروف تعرية جافة وعمليات ارساب ودفن سريعة.

(**) الجراى واكى: حجر رملى ردئ الفرز تكثر به نسبة الحصى والمادة اللاحمة عبارة عن مواد قارية (كلوريت) وقد تكوّن تحت درجة تغير ما بعدى كبيرة.

(ب) واكى يتكون أساساً من مكونات ثابتة مثل الكوارتز الواكى، الجراى واكى الكوارتزى.

ويستخدم هذا التصنيف للأحجار الرملية عالمياً ذلك أن الصفات التى بنى على أساسها وهى الفرز وكمية الحبيبات الثابتة وغير الثابتة يمكن تعيينها فى أى عملية إرساب تحدث فى أى مكان.

ويمكن تصنيف الرمال تبعاً لأصلها إلى: رمال بحرية وبحيرية ونهرية ودلتاوية وريحية ونهر جليدية وبركانية. وتتشابه الأقسام الأربعة الأولى كثيراً فى أصلها وصفاتها ولهذا يمكن جمعها تحت مسمى الرمال المائية. وحبيبات هذه الرمال شبه زاوية وجيدة الفرز، ويحتوى كل نوع منها على بقايا عضوية تتلاءم وبيئة الترسيب. والرمال الريحية التى تكون الكثبان الرملية والتى يعتبرها الكثيرون على أنها رمال صحراوية نقلتها وارسبتها الرياح هى فى الحقيقة رمال مائية جرفت لمسافة قصيرة بواسطة الرياح ولذا لم تزد استدارتها إلا قليلاً. وحبيبات الرمال الصحراوية أكثر استدارة وأصغر حجماً، وعادة تكون خالية من الغبار أو رقائق الميكا التى تنقل بعيداً بواسطة الرياح. وتتميز الرمال النهر جليدية بحبيباتها الزاوية الحادة غير المفروزة. وتحتوى معظم الرمال الجليدية على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة المختلفة. وتتراكم الرمال البركانية حول الجزر البركانية ويمكن تمييزها بطبيعة مكوناتها النارية وبزواياها الحادة.

وتكسب المواد اللاحمة الأحجار الرملية صفات إضافية ثانوية يمكن على أساسها تصنيفها حسب نوع هذه المادة اللاحمة. فبالإضافة إلى أنواع المادة اللاحمة المعروفة السيليكية، والجيرية والطفلية والحديدية، توجد مواد أخرى مثل الجبس والباريت. وتترسب المادة اللاحمة بين الحبيبات، ولكن قد تنمو السليكا فوق حبيبات الكوارتز الأصلية مع توافقها مع تلك الحبيبات فى الخواص الطبيعية، وعندما تمتلئ الفراغات تماماً يتكون صخر الكوارتزيت. وتكون المواد الحديدية اللاحمة غشاء رقيقاً من أكسيد الحديد حول كل حبيبة وتعطى أحجاراً رملية حمراء أو بنية اللون. وتضعف المواد الطفلية اللاحمة الأحجار الرملية وتعمل على تفتتها إلى رمال. وتسمى الأحجار الرملية التى تحجرت بواسطة المواد الجيرية بالأحجار الرملية الجيرية ويميزها ألوانها البيضاء.

ثانياً: الصخور الطينية :

الصخور الطينية هى أدق الرسوبيات الفتاتية، وهى تتكون غالباً من فتات صخرى سيليكى له حجم غرينى أو طينى، وتحتوى عادة على كمية قليلة من الحبيبات ذات حجم يتراوح بين ١ إلى ٢ ميكرون. والصخور الطينية بصفة عامة هى أكثر الصخور الرسوبية انتشاراً وحيث أنها دقيقة التحبب جداً فإنه من الصعب دراستها، لذا فهى أقل تفهماً من الأحجار الرملية. ويمكن القول بصفة عامة أن مواد الصخور الطينية تكون أكثر اختلافاً فى نسيجها الدقيق. وتنقسم مكوناتها على أساس الأصل إلى عدة مجموعات تشمل :

١- المعادن الناتجة عن التجوية.

٢- بواقى معادن كافحت التجوية.

٣- معادن محلية النشأة.

٤- معادن عضوية.

وقد تسبب عوامل التجوية الكيميائية تكوين معادن جديدة بتحلل معادن أخرى خاصة الفلسبارات والسليكات الحديدية المغنيسية. والمعادن الرئيسية التى تتكون بهذه الطريقة هى معادن الطين التى تشمل الكاولينيت والمونتموريللونيت وكذلك الأكاسيد الحديدية والألومينية (البوكسيت - الليمونيت) . وتتكون صخور طينية أخرى من معادن متبقية، وهى أساساً كوارتز وميكا وفلسبار بالإضافة إلى معادن طينية ناتجة من الصخور الطينية نفسها. وتعتبر معادن الكالسيت والدولوميت والأوبال والكالسيدونى والبيريت والجلوكونيت والكلوريت والآليت هى أكثر المعادن محلية النشأة انتشاراً فى الصخور الطينية. وتنتج معادن الكلوريت والآليت من تحلل فتات طينى فى بيئة بحرية، وحيث يتم هذا التغيير فإن الأليت بالذات قد يصبح المكون الأساسى لقرار ما نظراً لأنه موجود بكثرة فى الطين الصفائحى البحرى القديم. وقد يلاحظ وجود مواد عضوية بوفرة فى بعض الصخور الطينية ونادرة فى صخور طينية أخرى. والأنواع الرئيسية من المواد العضوية فى الطين والصلصال هى المواد الكربونية السوداء والأراجونيت

الموجود فى أصادف المنخربات والأوبال فى أصداف الراديولاريا وأشواك الاسفنج.

وينطبق مصطلح الطين عامة على المواد الطينية غير المتماسكة فى حين ينطبق اصطلاح الأحجار الطينية أو الصخور الطينية على الغرين والطفل والصلصال. فحينما تختلط الحبيبات من حجم الغرين بقدر كبير مع باقى المواد الطينية يطلق عليه غرين. أما عندما يحتوى الطين على قليل من الغرين سمى صلصال. ويأتى الطفل فى الوسط عندما يحتوى على قدر متساوى تقريباً من حبيبات الصلصال وحبيبات الغرين.

وأحياناً تسمى الصخور الطينية بأسماء تدل على اللون أو المكونات الثانوية. فهناك صلصال صفائحى أسود بيريتى، ويستعمل هذا الاسم كصفة وأيضاً لتوضيح المميزات التكوينية التى يدل عليها كل من اللون الأسود والبيرت. إذ تتكون معظم صخور هذا النوع فى وسط مائى استنفدت منه كمية كبيرة من الاكسجين فتجمعت المواد العضوية مسببة لوناً داكناً للصخور. ويحتوى الصلصال أو الطفل الأحمر على أكسيد الحديد الذى يدل على ترسيبه فى بيئة مؤكسدة. ويحتوى الصلصال أو الطفل الجلوكونيتى على معدن الجلوكونيت المحلى النشأة الذى يدل على ترسيبه فى بيئة بحرية ضحلة.

ويتدرج الصلصال والطفل إلى أحجار غرينية وأحجار رملية. والصخور التى تحتوى على كمية من مواد الطين بنسبة تتراوح بين ٥٠ إلى ٦٠٪ تصنف ضمن الصخور الطينية، وبازدياد نسبة الرمل والغرين الخشن تتدرج هذه الصخور إلى واكى أركوزى أو واكى كوارتزى. ومن ناحية أخرى يتدرج الطفل والصلصال بازدياد المكونات محلية النشأة إلى رواسب كيميائية مختلفة، فينتج المارل والكالكاريليت (الحجر الجيرى الطينى) من ازدياد فى محتويات الكالسيت، وينتج الصلصال الحديدى من وجود كمية كبيرة نسبياً من السيدريت، وينتج الطفل السيليكى والبورسيلينيت بازدياد محتويات السيليكا.

ثالثاً: الصخور الجيرية:

يعتبر الحجر الجيرى والدولوميت الصخران الجيريان الرئيسيان فى مجموعة الصخور الجيرية. ويتكون الأول من كربونات الكالسيوم والثانى من كربونات الكالسيوم والمغنسيوم. وينتج الدولوميت من الحجر الجيرى الحديدى المعروف باسم الأنكاريت حيث يستبدل الحديدوز بالمغنسيوم لذا يعتبر كل من الإنكاريت والدولوميت طرفى تتابع. فمعظم الدولوميت الموجود فى الرواسب الجيرية انكريتى بعض الشىء حيث يكون لونه فى نطاق التجوية أحمراً وبنى فاتح نتيجة أكسدة الحديد. ويعتبر معدنى الكالسيت والدولوميت المعدنان الأساسيان فى الصخور الجيرية. وتوجد معادن ثانوية مثل الأراجونيت والسيدريت والماجنزيت فى الرواسب الجيرية وهى معادن كربوناتية. كما توجد أيضاً معادن غير كربوناتية على شكل حبيبات فتاتية تختلط بالمواد الكربوناتية مثل الكوارتز ومعادن الطين. وتشتمل الصخور الجيرية على مكونات عضوية غير كربوناتية مثل أويال الدياتوم وأصداف الراديولاريا وأشواك الأسفنج، كما تتكون معادن محلية المنشأة إما معاصرة للرواسب الجيرية وإما أثناء أو بعد تحجرها مثل الكالسيدونى والجلوكونيت والبيريت والجبس والانهيدريت وبعض الفلسبارات وتعمل على تعتيم لون معظم الصخور الجيرية.

ويجب أن يحتوى الصخر على ٥٠٪ على الأقل من معادن كربونات الكالسيوم حتى يمكن إدراجه ضمن الصخور الجيرية. ونظراً لأن هذه الصخور لا تحتوى على معادن أساسية أخرى غير التى ذكرت سابقاً فإن تقسيمها على أساس تركيبها يعتبر بسيطاً نسبياً. فالصخور التى تتكون غالبيتها من الكالسيت (كربونات الكالسيوم) تسمى الحجر الجيرى، وتلك التى تتكون من الدولوميت فتسمى صخر الدولوميت أما خليط هذين المعدنين فيسمى الحجر الجيرى الدولوميتى أو الدولوميت الجيرى. وفى حالة توافر معادن اضافية يحوّر اسم الصخر ليناسب تركيبه فهناك الحجر الجيرى الجلوكونيتى، والحجر الجيرى الصوانى والحجر الجيرى الرملى والحجر الجيرى الطينى. وتتدرج الصخور الكربوناتية بازدياد ما تحويه من مواد غير كربوناتية إلى أنواع أخرى من

الصخور. على سبيل المثال عند يختلط الحجر الجيرى بكمية ملحوظة من حبيبات الرمل يعرف بالحجر الجيرى الرملى الذى يتدرج إلى حجر رملى جيرى بازدياد كمية الرمل. والحجر الجيرى الذى تختلط به كمية من الطين أو الطفل يعرف بالحجر الجيرى الطينى أو الطفلى، وبازدياد كمية الطفل يتدرج إلى مارل ثم إلى طفل جيرى.

وتنقسم الأحجار الجيرية حسب طريقة التكوين إلى :

١- **الأحجار الجيرية العضوية:** يطلق هذا التعبير على الأحجار الجيرية التى تحتوى على وفرة من هياكل الكائنات الحية. وتختلف هذه الأحجار باختلاف أنواع المواد الجيرية العضوية من ناحية وإلى اختلاف طرق ترسيبها من ناحية أخرى، ولكنها لا تختلف كثيراً فى تركيبها الكيميائى. والأحجار الجيرية التى تتكون من بقايا عضوية أكثر انتشاراً وشيوعاً من غيرها، وبعضها يكون محلى النشأة أى أنه يتكون من بقايا عضوية لم تنقل من البيئة التى عاشت وماتت فيها ولذا لم تتعرض للتكسير. وهناك نوع من الأحجار الجيرية العضوية منقولة تتكون من فتات عضوى منقول وربما يكون مبرى ومفروز ومرسب كتجمع فتاتى. وتسمى الأنواع المختلفة من الأحجار الجيرية العضوية على أساس أكثر مكوناتها وفرة، فهناك الحجر الجيرى الطحلبى والحجر الجيرى المرجانى والحجر الجيرى النوموليتى والمنخرباتى والمسرجى والزنبقى والأويسترى.

٢- **الأحجار الجيرية الفتاتية:** تتكون هذه الأحجار من فتات الكالسيت الذى استمد من أصل قارى فتاتى أو عضوى أو بويضى حيث نقل وفرز قبل أن يستقر فى وضعه النهائى فى البيئة البحرية. وسرعان ما يتماسك هذا الفتات الجيرى بمجرد ترسيبه ودفنه بواسطة كربونات الكالسيوم محلية النشأة خلال المسام التى بين هذا الفتات. ولما كان كل من الفتات والمادة اللاحمة لهما نفس التركيب لذا يصعب التفريق بينهما. ويطلق على هذه الرواسب التى لا تختلف عن الرمال العادية إلا فى التركيب المعدنى الارنيت الجيرى إذا كانت حبيباتها متجانسة، أما إذا كانت حبيباتها رديئة الفرز فتسمى بالروديت الجيرى. وتحتوى صخور الأرنيت الجيرى على ثلاثة أنواع مختلفة من حبيبات الكربونات هى: قطع

عضوية، وبويضات تشبه حبات البطارخ (سرئيات) وقطع من صخور جيرية قديمة. وأكثر هذه الأنواع شيوعاً هى القطع العضوية التى تشمل أجزاء من هياكل من المرجان والأصداف الكبيرة مع أصداف سليمة غير مكسرة لكائنات دقيقة مثل المنخريات والاستراكودا. والصخور التى تتكون أساساً من قطع عضوية يطلق عليها كوكينا، أما الصخور التى تحتوى على وفرة من السرئيات يطلق عليها الأحجار الجيرية السرئية. والسرئيات اما أن تكون كروية أو بيضاوية وتتكون من الكالسيت أو الاراجونيت الذى يترسب كيميائياً حول نواة مركزية من كالسيت عضوى أو حبة رمل أو حتى جزء من بويضة سابقة. وجدير بالذكر أن الأنواع المختلفة من الفئات الجيرى غالباً ما تختلط ويمكن ملاحظة ذلك فى طبقات الحجر الجيرى التى لها امتداد اقليمى كبير.

٣- الأحجار الجيرية الدولوميتية والدولوميت، يعتقد كثير من الدارسين أن أنواع الدولوميت تتكون أساساً نتيجة تحور الأحجار الجيرية فكثير من التراكيب الدولوميتية كانت أصلاً من الكالسيت والأراجونيت ثم حل محلها الدولوميت، كما أن معظم المادة العضوية فى الأحجار الدولوميتية لم تكن دولوميتية الأصل ولكنها تدلمتت بعد ذلك. ولكن من المعروف أن الدولوميت يتكون حالياً عند قاع البحر، لذا فمن الأرجح القول أن بعض الدولوميتات عبارة عن رواسب كيميائية ترسبت مباشرة من مياه البحر أو البحيرات وبصفة خاصة عندما تكون درجة الملوحة مرتفعة خاصة إذا كانت ضمن تتابع ذو أصل تبخرى. أما الدولوميتات الأخرى فقد تكونت بالإحلال محل الكالسيت أو الاراجونيت على قاع البحر. وتنسب طبقات الدولوميت التى تتميز بامتداد اقليمى كبير وبالإنتظام والتداخل بين طبقات الحجر الجيرى إلى إما ترسب أصلى أو إحلال عند قاع البحر قبل دفنها، وغالباً لا توجد أية مميزات صخرية للتفرقة بين هذين النوعين من الدولوميت. ويحدث بالإحلال التام نقص فى حجم الصخر بحوالى ١٢,٣ ٪ وينتج عن ذلك صخر مسامى.

رابعاً: الرواسب الكربونية :

تشمل الرواسب الكربونية كل الرواسب الحديثة أو القديمة التى تتكون أساساً

من مواد عضوية كربونية مثل البيت Peat، اللجنيت lignite، فحم الانثراسيت Anthracite وغيره، وتتكون هذه الصخور من فتات النباتات فى مراحل مختلفة. ويتكون البيت من تجمع ألياف النباتات فى الطبقات العليا للتربة فتعطى بذلك الفرصة لنمو نباتات أخرى. وقد تتجمع بهذه الطريقة طبقة سمكها حوالى ٢٠م فى بعض الأماكن، وهذا النوع من البيت يعرف باسم بيت المناطق المرتفعة. وهناك نوع آخر من البيت يعرف ببيت المستنقع وهو على عمق أكبر من النوع الأول إذ أن به كمية أكبر من عفن النباتات، ويتكون أساساً من بقايا حشائش ونباتات مائية كما يشتمل على أشجار وأفرع أشجار وأصداف مائية وكائنات أخرى.

أما الليجنيت أو الفحم البنى فهو أكثر صلادة وتماسكاً من البيت ويختلف لونه بين البنى والأسود ويحتفظ ببنية الخشب الليفية المعروفة. ويمثل اللجنيت مرحلة وسطى بين الخشب والفحم.

ويتركب فحم البتومين Bitumin من طبقات مضغوطة من كل أنواع المواد النباتية فى مراحل مختلفة من الحفظ وتوجد به فواصل واضحة ولذلك فهو يتشقق إلى كتل مستطيلة. ويمكن تمييز نوعين لهما نسيجان مختلفان: الأول الفحم المعدنى أو الفيوزين Fusain وهو مادة هشة ناعمة توجد أحياناً فى مستويات التطابق، والثانى هو الفحم المتماسك، ويتكون أيضاً من قسمين واضحين هما: الفحم البراق أو اللامع وهو صلب له لمعان أسود ومكسر محارى، والفحم غير اللامع ولونه أسود وليس له لمعان ومكسره خشن. ويوجد الفحم اللامع على شكل عدسات مستطيلة فى وسط من الفحم غير اللامع.

والانثراسيت نوع صلب من الفحم له لمعان شبه فلزى ومكسر محارى واضح وهو أغنى أنواع الفحم فى الكربون ويتكون من كل مكونات الفحم العادى.

وفحم التوربانيت Torbanite أو فحم كانل Cannel نوع من الفحم الأسود غير اللامع وهو متماسك ويشبه القار ومكسره محارى، ويحتوى عادة على كمية كبيرة من الرماد وكمية من معادن الطين. وبازدياد كمية المادة المعدنية على كمية المادة الكربونية يتدرج هذا الفحم إلى الطفل الصفائحى الزيتى.

خامساً: الرواسب الكيميائية :

هى عبارة عن صخور ترسبت بطرق فيزيوكيميائية مثل التبخر. وتكون الرواسب عادة على شكل مسحوق متبلور أو غير متبلور أى أن حجم حبيبات الصخور المتكونة بهذه الطريقة دقيق. ويساعد التبخر فى ظل ظروف ملائمة على نمو بلورات كبيرة كما فى رواسب الملح والجبس، وقد تعوق البلورات المتجاورة نمو بعضها البعض وتصبح أشكالها غير منتظمة. ويبدأ التبلور من نقطة مركزية ثم يستمر فى نظام اشعاعى، أو قد يحدث الترسيب على فترات حول نواة وينتج بذلك نظام دائرى بلورى. ويمكن تصنيف الصخور الكيميائية إلى :

١- **الرواسب السيليكية:** وأهمها الصوان والشيرت ويتكونان من السيليكا ذات البلورات الدقيقة ويوجدان على هيئة كتل عقدية أو كما تسمى أحياناً بالدرنات السيليكية (تسمى محلياً بمب أو بطاطس).

٢- **رواسب الكربونات:** وهى كربونات الكالسيوم والمغنسيوم التى تترسب تحت ظروف فيزوكيميائية مناسبة. فالمياه السطحية بالبحار والمحيطات تتشبع بكربونات الكالسيوم ماعدا المناطق القطبية ومناطق التيارات البحرية الباردة، وتحت هذه الظروف يعمل فقدان ثانى أكسيد الكربون أو ارتفاع درجة الحرارة أو كليهما معاً على ترسيب كربونات الكالسيوم. ويعزى تكون الحجر الجيرى دقيق الحبيبات الخالى من الحفريات إلى هذه العملية. ويرجع ترسيب كربونات الكالسيوم من المياه العذبة أساساً إلى فقدان ثانى أكسيد الكربون. فمعظم المياه تحتوى على هذا الغاز وتزداد قدرتها – أى المياه – على اذابة كمية أكبر من كربونات الكالسيوم بازدياد كمية ثانى اكسيد الكربون. وعند فقدان هذا الغاز فى المحاليل المشبعة بكربونات الكالسيوم نتيجة تبخر الماء المتساقط من أسقف الكهوف المتكونة فى الأحجار الجيرية تتكون الاستلاكتيت الهابطة والاستلاجمايت الصاعدة، وهى رواسب كيميائية من كربونات الكالسيوم. وكذلك عند انخفاض الضغط الواقع على ماء الينابيع الصاعدة للسطح تصل كربونات الكالسيوم إلى درجة التشبع وتترسب حول فتحة الينبوع وتسمى الطوفا أو رواسب الترافرتين.

٣- الرواسب الحديدية: توجد أملاح الحديد في معظم المياه الطبيعية وتترسب في الظروف المناسبة على هيئة أكاسيد أو أيدروكسيدات أو كربونات أو سيليكات الحديد. ويوجد الحديد في محلوله على هيئة بيكربونات وأحياناً على هيئة كلوريدات أو كبريتات. وعندما يفقد ثاني اكسيد الكربون تتغير البيكربونات إلى كربونات الحديدوز. أما الحديد المترسب على هيئة سيليكات فله أشكال بطروخية وذو أصل بحرى إذ يتكون حول نويات على قاع البحر تحت ظروف تشبع ماء البحر بأملاح الحديدوز.

٤- الأمـــــلاح: وهى كلوريدات وكبريتات وكربونات ونترات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم. وهذه الأملاح تتكون نتيجة عملية البخر لمسطحات بحرية مقفولة وضحلة. وتبلغ نسبة متوسط ملوحة مياه البحار حوالى ٣٥٪. ونسبة الأملاح في هذه الكمية هى ٧٧,٧٦ ٪ كلوريد صوديوم، ١٠,٨٨ ٪ كلوريد مغنسيوم، ٤,٧٤ ٪ كبريتات مغنسيوم، ٣,٦ ٪ كبريتيات كالسيوم، ٢,٤٦ كبريتات بوتاسيوم، ٠,٣٤ ٪ كربونات كالسيوم، ٠,٢٢ ٪ بورات ونترات مغنسيوم. ويجب أن تتشبع مياه البحر بهذه الأملاح قبل ترسيبها. وترتيب ترسيب هذه الأملاح على النحو التالى: أملاح كالسيوم ثم أملاح صوديوم ثم أملاح مغنسيوم وأخيراً عند اتمام التبخر أملاح البوتاسيوم.

الصخور المتحولة Metamorphic Rocks:

التحول هو استجابة الصخور الصلبة للتغيرات الكبيرة في الحرارة وفى الضغط وفى البيئة الكيميائية التى تحدث بعيداً عن نطاق الغلاف الجوى. ويقصد بالتحول في أغلب الحالات عملية اعادة التبلور الجزئى أو الكامل للصخر وتكوين بنيات جديدة. وتقضى التغيرات في الحرارة والضغط والبيئة الكيميائية على الاتزان الطبيعى لمجموعة المعادن التى يتكون منها الصخر. وينتج التحول من الجهد المبذول للوصول إلى حالة اتزان جديدة. وتتغير المعادن المكونة للصخر بواسطة عملية التحول إلى معادن أخرى تكون أكثر ثباتاً تحت الظروف الجديدة، وفى بنيات ملائمة لها.

عوامل التحول:

يرجع التحول لتأثير ثلاثة عوامل هى: الحرارة – الضغط – السوائل النشطة

كيميائياً. ويعتمد التحول على الحرارة والضغط مجتمعين وعلى النشاط المتزايد للسوائل وذلك لحدوثه فى الأعماق. وتنشأ الحرارة إما نتيجة لطبيعة ازديادها بالعمق أو من ماجما مجاورة، ويرجع الضغط أساساً للجاذبية، والضغط إما أن يكون منتظم ويسمى بالضغط الحجرى المتوازن أو الضغط الحابس ويعمل على تقليل حجم الصخور ومن ثم ازدياد كثافتها، أو يكون موجهاً ويسمى بالجهد ويعمل على تغيير الشكل وتشويهه. وبينما يؤثر الضغط الحابس فى السوائل والمواد الصلدة فإن الضغط الموجه لا يمكن أن يوجد إلا فى المواد الصلدة أو شبه الصلدة.

والسوائل النشطة كيميائياً هى أهم عوامل التحول ذلك لأن التفاعلات لا يمكن أن تحدث إلا أثناء الذوبان الجزئى أو الكلى للمعادن الموجودة. والمحرك العام للتغير هو المواد الطيارة أو السائلة البينية والتى تحتل المسام الشعرية العديدة والشقوق، وأهمها بلا شك الماء الذى تزيد فعاليته موضعياً بوجود ثانى اكسيد الكربون أو مواد أخرى مثل أحماض البوريك والايدروفلوريك الناشئة من الماجما النارية. وتنتشر المواد الطيارة (الغازات) الموجودة بالماجما فى الصخور المجاورة ومع انتشارها البطئ جداً تصل إلى مناطق بالقشرة الأرضية بعيدة كل البعد عن مناطق النشاط النارى. وتقوم رطوبة الصخور المتضمنة السوائل والغازات الخفيفة والتى يزداد تركيزها ونشاطها الكيميائى بالقرب من الكتل الجوفية بدور الوسيط العام الذى تحدث خلاله التغيرات المعدنية فى المكان والزمان اللذين تتلاءم فيهما ظروف الحرارة والضغط للتحول.

وتتعاون العوامل الثلاثة بدرجات متفاوتة فى إتمام التحول ولا شك أن العامل الكيميائى فعال فى كل الأحوال، ولا يمكن فصل تأثير كل من الحرارة والضغط، وقد تتغلب الحرارة أحياناً والضغط أحياناً أخرى.

أنواع التحـول :

تتوقف أنواع التحول المختلفة على العوامل الأربعة الحرارة والضغط المنتظم والضغط الموجه والسوائل النشطة كيميائياً. والعامل الأخير أساسى فى كل أنواع التغيرات المعدنية فى الصخور المتحولة فيما عدا التغيرات الحرارية والضغطية البحتة.

١- التحول بالحرارة السائدة: الحرارة هنا هى العامل السائد فى التحول الناتج من مجاورة الكتل النارية. ومع ذلك يتدخل الضغط الناتج من تجمع الصخور جانبياً وزيادة حجمها بالحرارة، وثقل الصخور العليا إلا أن تدخله ذو أثر ثانوى بالنسبة للحرارة. وعلى العموم، تتشرب صخور المنطقة بالغازات والسوائل الناشئة من الماجما والتى تساعد فى التحولات المعدنية الجارية. ويستخدم تعبير التحول الحرارى لكل أنواع التغير التى تكون الحرارة فيها عاملا سائداً. وقد يستعمل مصطلح التحول النارى ليدل على التغيرات الناتجة عن ملاصقة الماجما. ويستعمل مصطلح التحول الكاوى أو الأوبتالى عند تلاصق الصخور لحمم السدود والقواطع مما يؤدى إلى وجود آثار حرق وتكسير، وفى هذه الحالة تعمل الغازات الموجودة بالماجما على زيادة الحركة الجزيئية للسوائل البينية وتسهل بذلك التغييرات المعدنية، ويعرف هذا النوع من التغير بالتحول الاضافى أو التحول الغازى أو التحول بالحقن إذ تتحد فى هذه الحالة المواد المضافة مع الصخر المتحول. وتتدخل مواد الحقن فى مستويات التطابق فى الصخر المتأثر بالحقن وهنا يحدث تحول متعدد أو مركب ويجب الإشارة فى هذه الحالة وجوب وجود الضغط كعامل هام.

٢- التحول بالضغط المنتظم والحرارة: يؤدى الضغط المنتظم والحرارة المرتفعة فى الأعماق إلى اعادة تبلور المعادن فى بنية حبيبية منتظمة مكونة لأنواع من الصخور المتحولة تسمى بالجرانيوليت، ويسمى هذا النوع من التحول بمصطلح التحول الجوفى أو الإقليمى. حيث أنه يغطى مناطق شاسعة ويعمل على اعادة تكوين كتل الصخر تحت ظروف مختلفة.

٣- التحول بالضغط الموجه: الضغط الموجه هو الضغط المؤثر فى اتجاه معين، وبتعاون هذا الضغط مع الحرارة يصبح الضغط الموجه عاملاً أساسياً فى التحول. ويؤدى الضغط الموجه فى وجود حرارة قليلة أو معدومة إلى تهشم وتحبب الصخور نتيجة حركتها على بعضها البعض، ويحدث ذلك على السطح لأن الحرارة فى الأعماق تصبح عاملاً هاماً فى زيادة ليونة الصخور ونشاط المحاليل التى تعمل فى النهاية على التحول بإعادة التبلور بفعل الحرارة وحدها وما يصاحبها من سوائل وغازات. ويعمل الضغط الموجه وحده على تهشيم وتحطيم الصخور مع تكوين عدد قليل من المعادن الجديدة فى مستويات القص

القوى ويؤدى إلى تكوين بنيات شريطية متوازية. وفى مستويات الحركة الداخلية قد تنتج حرارة فى مواضع الاحتكاك تعمل على حرق أو حتى صهر الحبيبات المجاورة ويسمى التحول الناتج عن سيادة فعل الضغط الموجه بالتحول التحطمى Cataclastic.

٤- التحول بالضغط الموجه والحرارة: يعتبر اشتراك عاملى الضغط الموجه والحرارة أقوى العوامل فى احداث التحول، إذ يؤدى ذلك إلى اعادة تبلور الصخور وإلى تكوين بنيات جديدة. ويحدث هذا التحول عادة نتيجة حركات القشرة الأرضية التى تنشأ عنها سلاسل الجبال المعروفة باسم الحركات الأوروجينية أو الحركات البانية للجبال. ويعرف هذا التحول بالتحول الديناميكى الحرارى. وتتكون عن هذا النوع من التحول فى مناطق الجبال الالتوائية الصخور المتحولة المثالية كالشيست والنيس.

سحنات التحول:

يؤدى التحول التام إلى تكوين تجمع من المعادن فى حالة اتزان كيميائى. ويتحكم فى طبيعة هذا التجمع من المعادن المتحولة عاملان هما:

١- التركيب الكيميائى للصخر المتحول الذى يتوقف على التركيب الكيميائى للصخر الأصلى ثم مدى ما أضيف أو أزيل من مواد أثناء التحول.

٢- الظروف الفيزيائية للتحول خاصة الحرارة والضغط.

تكون الصخور المتحولة فى مجموعها - مهما كان تركيبها - والتى تحولت ضمن حدود معينة من الحرارة والضغط سحنة متحولة. وقد سميت كل سحنة باسم الصخر المتحول الشائع فيها. فمثلاً يطلق مصطلح سحنة الشست الأخضر على صخور الشست الألبيتى الأبيدوتى، الكلوريتى، وعلى صخور الشست الألبيتى الأبيدوتى الكلوريتى الجيرى المتكونة من تحول الصخور النارية المافية عند درجات حرارة منخفضة وضغط متوسط. ولكن تحتوى سحنة الشست الأخضر على صخور ليست بالشست الأخضر، فبعض الأحجار الطينية المتحولة تندرج تحت سحنة الشست الأخضر مثل الشست المسكوفيتى والشست الكلوريتى الكوارتزى، وبعض الأحجار الجيرية المغنيسية مثل الرخام التريموليتى تندرج أيضاً تحت سحنة الشست الأخضر. وسحنة الامفيبوليت أخذت اسمها من الشست

الهورنبلندى البلاجيوكلازى الامفيبوليتى ولكنها تشتمل على صخور غير محتوية على الامفيبول مثل الشتوروليت والكيانيت. لذا يجب أن يكون واضحاً أن السحنة تعرف في حدود الظروف الفيزيائية بغض النظر عن التركيب، وتسمى كل سحنة باسم صخر مشهور أو تجمع معدني تكون فقط تحت الظروف التي تميز هذه السحنة.

وقد استطاع الدارسون التعرف على السحن الأساسية التالية، وقد سمي كل منها تبعاً لنوع من الصخر مكافئ لها وثابت ضمن حدود السحنة أو تبعاً لتجمع من المعادن:

١- سحنة الهورنفلس البيروكسيني: حرارة عالية، ضغط معتدل، تحول تماسي.

٢- سحنة الجرانيوليت: ضغط وحرارة عاليان للغاية ومن المحتمل وجود عجز في الماء، تحول اقليمي.

٣- سحنة الاكلوجيت: ضغط وحرارة عاليان للغاية، وهي تشبه سحنة الجرانيوليت ولكن العلاقة بينهما غير مؤكدة.

٤- سحنة الامفيبوليت: وتنقسم إلى السحن الفرعية الآتية :

(أ) سحنة السليمانيت – المندين: حرارة وضغط عاليان – تحول اقليمي.

(ب) سحنة الشتوروليت – الكيانيت: حرارة وضغط منخفضان لحد ما – تحول اقليمي.

(جـ) سحنة الكورديريت – انثوفيليت: حرارة وضغط معتدلان – تحول تماسي.

٥- سحنة الامفيبوليت الالبيتي الابيدوتي: حرارة وضغط معتدلان – تحول اقليمي.

٦- سحنة الشست الأخضر: حرارة منخفضة وضغط معتدل – تحول اقليمي وتحول في ظروف مياه حارة.

٧- سحنة السانيدينيت: حرارة عالية جداً وضغط منخفض جداً – تحول نتيجة التلامس للقصبات البركانية.

وقد يحدث أحياناً أن صخراً تحول في بادئ الأمر عند درجة حرارة عالية

ثم عانى فيما بعد تحولاً جزئياً عند درجة حرارة أدنى، وفى هذه الحالة يمكن تمييز معادن السحنة المتحولة الأولى كآثار غير ثابتة مصاحبة لمعادن نشأت حديثاً من السحنة الثانية. فمثلاً إذا احتوى صخر على آثار غير ثابتة من جارنت وشتوروليت قديمى التكوين تغيرا جزئياً إلى كلوريت وقد انغمسا وسط محيط أحدث تكويناً يحتوى على معادن الكلوريت والمسكوفيت والكوارتز فإن هذا الصخر من الأرجح – أنه قد كابد تحولاً قديماً عالى الدرجة تحت ظروف نموذجية لسحنة الأمفيبوليت أعقبه تحول أدنى درجة إلى صخر من سحنة الشست الأخضر، وفى مثل هذا التتابع للتغيرات يسمى تحولاً تقهقرياً.

التصنيف الإجمالي للصخور المتحولة:

أساس التصنيف: تصنف الصخور المتحولة تبعاً للفصائل النسيجية والمعدنية وهى صفات يمكن تمييزها بالعين المجردة وأحياناً يستعان بالميكروسكوب بالنسبة للفصائل دقيقة الحبيبات مثل الميلونيت. والصفات النسيجية والمعدنية التى يقوم عليها التصنيف تجمع بقدر الإمكان الصخور ذات الأصل المتشابه والتى تحولت تحت ظروف متشابهة تقريباً فى فصائل مستقلة. ولكن يجب الإشارة هنا أنه أحياناً ما نجد صخرين متحولين تركيبهما المعدنى متشابه قد يكونا اشتقا من صخور مختلفة، ولكن لتسهيل الدراسة يتم تصنيفهما فى فصيلة واحدة طبقاً لصفاتهما الظاهرية بعد التحول.

التصنيف على أساس الصفات النسيجية: تنقسم الصخور المتحولة حسب هذا التصنيف إلى الفصائل الرئيسية الآتية :

١- **فصيلة الهورنفلس:** صخور تتركب من موزيك (فسيفساء) من حبيبات متساوية ونسيج حبيبى أو هورنفلسى. وتوجد هذه الحبيبات فى أرضية تتكون من مادة حبيبية تحولية، وهذه الفصيلة نتاج تحول تماسى.

٢- **فصيلة الاردواز:** صخور دقيقة التحبب ذات بنية شسيته مستوية، ولا يمكن تمييز المعادن بالعين المجردة، وهى نتاج تحول اقليمى للصخور الطينية والغرين والرواسب الفتاتية الأخرى دقيقة الحبيبات. وهناك نوع من الاردواز يعرف بالاردواز المنقط وهو نتيجة نمو بلورات من معادن تماسية. وتصبح البنية شسية تامة نتيجة نمو صفائح متوازية من الميكا الدقيقة ورغم دقتها فهى ظاهرة.

٣- **فصيلة الفيليت:** صخور شسيته دقيقة التحبب، وأسطح البنية الشستية لها بريق متألق اكتسب من الميكا المسكوفيت والكلوريت. وفصيلة الفيليت لها نفس الأصل مثل الاردواز ولكن حجم حبيباتها خشن نتيجة تحول أكثر تقدماً نوعاً ما.

٤- **فصيلة الشست:** صخور شستية خشنة التحبب تسمح بتعيين المعادن الأساسية بسهولة بالعين المجردة، وتتوفر بها المعادن ميكائية الهيئة وذات توجيه متوازى جعلت البنية الشستية واضحة، وهى نتاج تحول اقليمى.

٥- **فصيلة الامفيبوليت:** صخور متحولة ذات حبيبات خشنة ومتوسطة تتركب أساساً من هورنبلند وبلاجيوكلاز وبنيتها الشستية الناتجة عن الصفوف المتوازية لبلورات الهورنبلند أقل وضوحاً من صخور الشست النموذجية وهى نتاج تحول اقليمى متوسط إلى عالى الدرجة.

٦- **فصيلة النيس:** صخور خشنة الحبيبات وبنيتها الشستية غير واضحة نتيجة لتغلب نسبة معادن الكوارتز والفلسبار على المعادن المكائية وهى نتاج تحول اقليمى عالى الدرجة.

٧- **فصيلة الجرانيوليت:** صخور متساوية الحبيبات خالية من المعادن الميكائية أو الامفيبول، ومن ثم فهى ليست شستية وتتميز بتورقها الراجع إلى تصنيف عدسات مفلطحة من الكوارتز والفلسبار وهى نتاج تحول اقليمى من أعلى درجة.

٨- **فصيلة الرخام:** صخور متحولة تتركب من كالسيت أو دولوميت.

٩- **فصيلة الميلونيت:** صخور دقيقة الحبيبات، ومظهرها صوانى أو مخطط أو عدسى. وتظهر بعض الصخور الأصلية مغموسة فى المادة الحبيبية المتحولة.

١٠- **فصيلة الكاتاكلسيت:** وهى صخور تحولت بالتحطيم أو التهشيم ولذلك تسمى بالصخور التهشمية وبزيادة شدة التهشيم والتشوه تتدرج إلى ميلونيت.

١١- **فصيلة الفيلونيت:** وهى صخور تشبه الفيليت ظاهرياً وأحياناً لا يمكن تمييزها عنها ولكنها تكونت بواسطة تحبب صخور أخشن فى الأصل.

الفصل الرابع

نشأة القارات والمحيطات

- خصائص توزيع اليابس والماء.
- النظرية التتراهيدية.
- نظرية زحزحة القارات.
- نظرية الألواح التكتونية.
- الكتل القارية القديمة.
- نطاقات الضعف في قشرة الأرض (الأحواض البحرية القديمة ونظم المرتفعات).
- الحركات البانية للجبال، وتوزيع الجبال الناشئة عنها.

الفصل الرابع

نشأة القارات والمحيطات

منذ أكثر من ثلاثة قرون حاول العلماء تفسير توزيع اليابس والماء، ونشأة القارات والأحواض المحيطية. وتعددت النظريات والفرضيات مشيرة بذلك إلى عدم نجاح أياً منها فى تقديم تصور نهائى مقبول. وقد ساعد التقدم العلمى والتقنى على ظهور نظريات جديدة، والتوصل إلى مناهج وأساليب علمية وابتكار أجهزة ومعدات لم تكن متوافرة من قبل.

وقد اعتقد كلفن Kelvin أن القارات كانت فى الأصل عبارة عن عقد قديمة Nuclear Clots فى الكتلة الغازية التى تكونت منها الأرض. واقترح سولاس Sollas أن سطح الأرض عند بداية نشأتها كان متموجاً فى شكل محدبات تمثل القارات ومقعرات تمثل الأحواض المحيطية. كما اقترح لوثيان جرين L. Green عام ١٨٧٥ نظريته المعروفة باسم النظرية التتراهيدية أو نظرية المنشور الهرمى الثلاثى، حيث رأى أن القارات نشأت عند رؤوس المنشورونمت على طول حروفه، بينما شغلت المحيطات أوجه المنشور المقوسة إلى أسفل. واقترح داروين C. Darwin عام ١٨٧٨ نظرية انفصال القمر عن الأرض مخلفاً تلك الحفرة الغائرة الضخمة فى قشرة الأرض والتى يشغلها المحيط الهادى. وكان رد الفعل من الناحية المقابلة من القشرة حدوث تصدعات تكونت بها المحيطات الأخرى والقارات. وأوضحت نظرية الكويكبات عام ١٩٠٥ أن القارات والمحيطات قد نشأت نتيجة التساقط غير المتساوى للشهب والنيازك فوق سطح الأرض.

وقد لاحظ كثير من الدارسين التوافق بين السواحل الشرقية للأمريكتين والسواحل الغربية لقارتى أوربا وأفريقيا، وكذلك التوافق بين السواحل الغربية للهند واستراليا والساحل الشرقى لأفريقيا. وليس هناك احتمال أن يكون توافق السواحل المتقابلة فى كل القارات مجرد صدفة، بل يكون دلالة واضحة على أن القارات جميعها كانت قارة واحدة ثم تشققت وتصدعت إلى أجزاء انجرفت متباعدة عن بعضها البعض حتى اتخذت أوضاعها الحالية.

وقد أكدت تلك الملاحظات تشابه البنية الجيولوجية والتكوين الصخرى ونوع الحفريات وشواهد المناخ القديم فى هوامش القارات المطلة على المحيط الأطلسى. وكان أول من لاحظ هذا التوافق بيكون F. Bacon عام ١٦٢٠. وأوضح سنيدى Snider عام ١٨٥٨ أن القارات كانت متداخلة ومجتمعة فى قارة واحدة كبرى. وأكد بيبر Pepper عام ١٨٦١ مدى التشابه الباليوجرافى بين سواحل قارات العالم المتقابلة. وقد جمع تايلور F. B. Taylor تلك الآراء المختلفة وصاغ منها نظرية متكاملة عام ١٩٠٨ ناقشت كيفية زحزحة القارات افقياً من مواقعها الأصلية إلى مواقعها الحالية. وتعد دراسة تايلور مقدمة لظهور نظرية زحزحة القارات التى قدمها فجنر A. wegener عام ١٩١٥ و أكدها دو توا Du Toit عام ١٩٣٧.

ويرى فنجر ان القارات كانت متجمعة فى كتلة قارية ضخمة قديمة اطلق عليها اسم قارة بنجايا Pangaea. وكانت هذه القارة فى بداية العصر الكربونى تتألف من كتلتين: شمالية هى كتلة أوراسيا Eaurasia، وجنوبية هى كتلة جندوانا Gondwana، ويفصل بينهما محيط تيثس Tethys ocean الذى كان يشغل ثنية حوضية مقعرة عظمى Geosyncline. وقد تعرضت الكتلتين القديمتين لعمليات تكسر وزحزحة أفقية تكون منها نوايات القارات الحالية، والمحيطات التى تفصل بينها.

وقد اختلفت الآراء حول كيفية تحرك أجزاء القشرة الأرضية أفقياً من موقع لآخر خلال فترة جيولوجية ما، وعدم تحركها بنفس المقدار فى الوقت الحاضر. ولم يستطيع الدارسون تحديد طبيعة الحركة وميكانيكيتها وأسبابها ونتائجها وطول الفترة الزمنية اللازمة لتحرك جزء من القشرة الأرضية من منطقة رئيسية ممثلة فى القطب الجنوبى إلى المواقع الحالية. وقد أدت الدراسات والاكتشافات الحديثة إلى فهم طبيعة تركيب وتكوين الأرض، ومن ثم معرفة أن أجزاء قشرة الأرض متراكبة فوق الواح Plates تكتونية تتزحزح وتنساب متباعدة عن بعضها فى جهات ومتقاربة فى تصادم أو احتكاك فى جهات أخرى. ويعزى نشوء هذه الحركة إلى خصائص وطبيعة مواد باطن الأرض.

وقد ظهرت نظرية الألواح التكتونية Plate Tectonics فى أواخر الستينات من القرن العشرين، وأثرت فى الكثير من مفاهيم الجغرافيا الطبيعية. وطبقاً لهذه النظرية فإن قشرة الأرض لا تتألف من كتلة واحدة متصلة بل تتركب من مجموعة من الألواح التكتونية المتجاورة لبعضها البعض. وهذه الألواح فى حركة مستمرة، وينجم عن تحركها حدوث تصادم فيما بينها أو تكسرها جانبياً أو انزلاقها إلى أسفل وانغماسها فى مواد الوشاح Mantle أو تباعدها عن بعضها وخروج مواد الوشاح لتكوين قشرة جديدة وتعزى نشأة الظاهرات التضاريسية الكبرى فوق سطح الأرض والعلاقة بينها إلى طبيعة حركة الألواح ونظمها والنشاط التكتوني المرتبط بها، مثل العلاقة بين نشأة كل من القارات والمحيطات وبين السلاسل الجبلية والأخاديد الصدعية وبين الخوانق المحيطية العظمى والأقواس الجزرية والنشاط البركانى أسفل قيعان المحيطات وعلى القارات. وعلاقة النشاط البركانى المحيطى بتمدد أرضية المحيطات ومن ثم فتح محيطات جديدة وغلق محيطات قائمة.

خصائص توزيع اليابس والماء (القارات والمحيطات) :

تبلغ مساحة سطح الرة الأرضية ٥١٠ مليون كيلو متر مربع ولا تبدو هذه المساحة الشاسعة متجانسة على الإطلاق إذ أن الأرض تتكون من مناطق مرتفعة هى اليابس (القارات) وأخرى منخفضة مغمورة بالماء هى البحار والمحيطات. وكان يظن قديماً أن مساحة اليابس يجب أن تفوق مساحة الماء مادام الله سبحانه وتعالى قد خلق الأرض لسكنى البشر. ثم اعتقد أن نسبة اليابس إلى الماء هى ١ : ٣ ولكن الكشوف الجغرافية فى المناطق القطبية الجنوبية قد قللت من نسبة مساحة اليابس إلى الماء. وقد حددت الأقمار الصناعية مساحة كل من اليابس والماء على سطح الكرة الأرضية تحديداً دقيقاً، وهى تساوى ١٤٨,٩ مليون كيلو متراً مربعاً لليابس و ٣٦١,١ مليون كيلو متراً مربعاً للماء أى أن اليابس يمثل ٢٩,٢ ٪ من جملة مساحة الأرض بينما يمثل الماء ٧٠,٨ ٪ أى بنسبة ١ : ٢,٤٣.

وعند دراسة توزيع اليابس والماء على خريطة يلاحظ أن هذا التوزيع غير

منتظم فى نصفى الأرض سواء بمقارنة النصف الشمالى بالجنوبى أو الشرقى بالغربى. فإلى الشمال من الدائرة الاستوائية تبلغ نسبة مساحة اليابس ٣٩,٣٪ فى حين أن نسبة الماء ٦٠,٧٪ وهى دون النسبة العامة للماء. اما إلى الجنوب من الدائرة الاستوائية فإن نسبة الماء تتفوق على النسبة العامة فتبلغ ٨٠,٩ بينما يصل اليابس إلى ١٩,١٪. وكذلك فإن كتلة اليابس العظمى التى تقع فى نصف الأرض الشرقى ممثلة فى قارات آسيا وأوربا واستراليا ومعظم افريقيا وثلث مساحة القارة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا) لا تشغل إلى نسبة ٣٧,٩٪ بينما نسبة الماء ٦٢,١٪ فى حين أن النصف الغربى لا توجد به إلا الأمريكتان والثلث الباقى من انتاركتيكا وجزيرة جرينلند وتصل نسبة اليابس فيه إلى ١٨,٨٪ والماء ٨١,٢٪.

وهناك طريقة أخرى تقسم سطح الأرض إلى قسمين: الأول، يشتمل على أكبر مساحة ممكنة من اليابس ويسمى بنصف الأرض القارى ويقع مركزه بالقرب من مصب نهر اللوار بفرنسا وفيه يتركز نحو ٨٣٪ من مساحة اليابس، ورغم هذا فنسبة مساحة الماء تظل أكبر من نسبة مساحة اليابس فتصل إلى ٥٢,٧٪ ماء، ٤٧,٣٪ يابس. والثاني، يشتمل على المساحة الكبرى من الماء ويسمى نصف الأرض المائى ويقع مركزه عند جزر الانتيبود إلى الجنوب الشرقى من نيوزيلندة ويتكون هذا النصف من ٩٠,٥٪ ماء، ٩,٥ يابس (شكل ٤١)، أى أن مساحة الماء أكبر من مساحة اليابس فى أى تقسيم.

وعند تقسيم سطح الأرض إلى نطاقات يشغل كل منها خمس درجات عرضية نلاحظ ما يأتى :

١- يماثل توزيع اليابس والماء فى النطاق بين درجتى عرض ١٥ - ٢٠° شمالاً متوسط توزيع اليابس والماء على سطح الأرض.

٢- تبلغ نسبة مساحة الماء أقل من نسبة متوسط التوزيع العام فى النطاق بين درجتى عرض ٢٠° - ٧٥° شمالاً.

٣- تزيد مساحة اليابس على مساحة الماء بين درجتى عرض ٤٥°-٧٠° شمالاً .

٤- يسود الماء النطاقات الاستوائية والمدارية بنسبة تصل إلى ٧٥٪ من مساحتها.





شكل رقم (٤١)
نصف الأرض القاري ونصف الأرض المائي

٥- تصل نسبة المـاء إلى ١٠٠٪ فيما بين دائرتى عرض ٨٥ - ٩٠° شمالاً.

٦- تصل نسبة اليابس إلى ١٠٠٪ فيما بين دائرتى عرض ٨٠° - ٩٠° جنوباً.

وينقسم اليابس إلى أربعة كتل قارية ضخمة تضم ست قارات وهذه الكتل هى: الكتلة الأفروأوراسية (أفريقيا، آسيا، أوربا) وكتلة استراليا وكتلة الأمريكتين (الشمالية والجنوبية) وكتلة انتاركتيكا. أما المسطحات المائية فهى أربعة محيطات ضخمة هى المحيط الهادى (الباسفيكى) والأطلسى (الأطلنطى) والهندى وتتصل هذه المحيطات ببعضها البعض بفتحات واسعة أما المحيط الجنوبى فهو المساحة المائية التى تقع إلى الجنوب من دائرة عرض ٦٠° حتى قارة انتاركتيكا. وتبدو المحيطات الثلاثة الأولى كأذرع ضخمة تمتد نحو الشمال من هذا المحيط. أما المحيط القطبى الشمالى فيمكن اعتباره بحراً نظراً لصغر مساحته نسبياً.

وعند دراسة خريطة توزيع اليابس والماء تبرز بعض الحقائق الأساسية الآتية :

١- أن معظم اليابس يتركز فى نصف الأرض الشمالى بينما تتركز مساحة الماء فى النصف الجنوبى.

٢- أن القارات والمحيطات تأخذ شكلاً قريباً من المثلث. فالأمريكتان تكونان مثلثاً ضخماً قاعدته هى ساحل أمريكا الشمالية المطل على المحيط القطبى الشمالى ورأسه عند رأس هورن. وعند ملاحظة كل قارة منهما على حدة نجدها على شكل مثلثٌ قاعدته أيضاً فى الشمال ورأسه فى الجنوب. وكذلك بالنسبة لقارات آسيا وأوربا وأفريقيا واستراليا فهى كلها متجمعة على شكل مثلثين يشتركان فى قاعدة واحدة، وهذه القاعدة هى سواحل اوراسيا المطلة على المحيط القطبى الشمالى ورأس أحد المثلثين هى جزيرة تسمانيا والآخر هو الطرف الجنوبى لأفريقيا، وهما مثلثان أيضاً قاعدتهما فى الشمال ورأسهما فى الجنوب.

وبالمثل تأخذ المحيطات أيضاً شكل مثلثات ولكنها عكس مثلثات القارات

فالمحيط الهادى قاعدته المحيط الجنوبى ورأسه عند اقتراب آسيا وأمريكا الشمالية من بعضهما، والمحيط الأطلسى قاعدته أيضاً المحيط الجنوبى ورأسه تقع إلى الشرق من جزيرة جرينلند عند حافة ويفل – طومسون الغاطسة، والمحيط الهندى قاعدته المحيط الجنوب ورأسه فى خليج البنغال ويمكن اعتبار بحر العرب رأس أخرى له. وهذه المثلثات المحيطية قواعدها فى الجنوب ورأسها فى الشمال عكس المثلثات القارية.

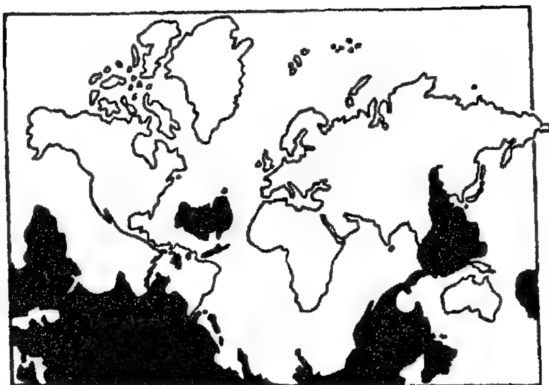
٣- ان اليابس يحيط بالمحيط القطبى الشمالى بغض النظر عن فتحة ممر برنج بين قارتى آسيا وأمريكا الشمالية، وباعتبار حافلة ويفل – طومسون الغاطسة قنطرة وصل بين قارتى أوربا وأمريكا الشمالية. بينما يحيط الماء قارة انتاركتيكا عند القطب الجنوبى من كل جانب ويفصلها عن باقى القارات.

٤- يشغل حوض المحيط الهادى حوالى ثلث مساحة الأرض ويمثل ظاهرة فريدة على وجهها، كما أنه محاط بسلاسل من المرتفعات الحديثة شاهقة الارتفاع.

٥- ان كل جزء من اليابس مهما كان حجمه يقابله مسطح مائى على الجانب الآخر من الأرض عند اختراقها قطرياً. ماعدا حالتان تشذان عن ذلك هما: تقابل بتاجونيا فى جنوب الارجنتين بأمريكا الجنوبية بقسم من اليابس فى الصين، وتقابل اليابس النيوزيلندى بقسم من شبه جزيرة ايبريا بأوربا (شكل ٤٢).

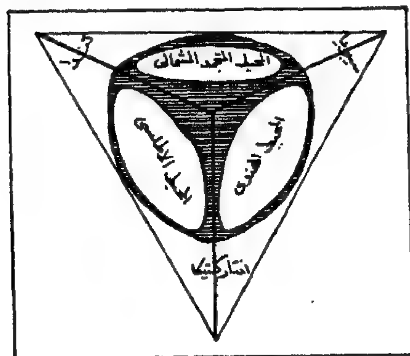
النظرية التتراهيدية Tetrahedral Theory :

أدت الحقائق التى عرفت عن خصائص توزيع اليابس والماء إلى ظهور نظرية الهرم الثلاثى أو النظرية التتراهيدية لصاحبها لوثيان جرين Lowthian Green عام ١٨٥٤. فبعد أن أجرى جرين عدة تجارب رياضية، توصل إلى أنه من الممكن أن تنكمش الأرض تحت تأثير فقدانها للحرارة وتعرض جميع أجزاء سطحها لضغوط متساوية وتتخذ شكل هرم ثلاثى. وهذا يعنى تحول الشكل الهندسى الكروى الذى تتمثل فيه أقل مساحة سطحية لحجم معين إلى هرم ثلاثى تتمثل فيه أكبر مساحة سطحية لذلك الحجم. ويقابل كل رأس من رؤوس



شكل (٤٢)

تقابل اليابس والماء على سطح القشرة الأرضية



شكل (٤٣)

النظرية التتراهيدية، تأخذ الأرض عند انكماشها شكل الهرم الثلاثي

الهرم الثلاثى وكل حافة من حوافه أحد الأوجه. وبتطبيق هذه النظرية على الأرض فإن المحيطات تمثل أوجه الهرم بينما تمثل الكتل الصلبة القديمة والتى تعتبر نويات القارات رؤوسه، والامتداد الذى نمت عليه تلك القارات حوافه. ففى النصف الشمالى من الأرض نجد الكتلة الكندية (نواة قارة أمريكا الشمالية) وكتلة فينوسكانديا (نواة قارة أوربا) وكتلة انجارا (أحد أنوية قارة آسيا) تحتل الرؤوس الثلاثة الشمالية للهرم إذا ما قام على احدى رؤوسه ، أما الرأس الرابعة فهى التى تحتلها قارة انتاركتيكا. أما حواف الهرم فتمتد على طولها الكتل الصلبة القديمة ذات الامتداد الطولى وفى نفس الوقت نمت عليها القارات ويتمثل هذا فى الأمريكتيين وافريقيا وشرق آسيا مع استراليا وجزيرة تسمانيا (شكل ٤٣).

ولا شك أن الأرض لم يكن باستطاعتها اتخاذ هرم ثلاثى منتظم نظراً لتباين بنيتها وتركيبها، كما أن حركتها الدورانية حول نفسها وعامل التوازن الأرضى كفيلان بارجاعها إلى شكلها الكروى. كما أن هذه النظرية تقوم على التوزيع الحالى لليابس والماء، ومن المعروف أن هذا التوزيع كان متغيراً خلال العصور الجيولوجية المختلفة، وأن الصورة الحالية ما هى إلا صورة مؤقتة سوف تتبدل بعد ذلك فى مسلسل هذا التغير.

نظرية زحزحة القارات (فاجنر ١٩١٥):

نشر فاجنر عام ١٩١٥ مقالاً عن نشأة القارات والمحيطات يمكن تلخيصه فى أن اليابس كان عبارة عن كتلة قارية واحدة أطلق عليها اسم بنجايا Pangaea، ويحيط بها محيط واسع أطلق عليه اسم بانثالاسا Panthalassa يشغل القسم الأكبر من سطح الأرض. وكانت تلك الكتلة الكبيرة من اليابس تتألف من قسمين كبيرين: قسم شمالى يشمل قارتى أوراسيا وأمريكا الشمالية أطلق عليها اسم قارة يوراشيا، وقسم جنوبى كان يشمل أشباه الجزر الجنوبية فى آسيا (الدكن – الجزيرة العربية) وقارات أفريقيا وأمريكا الجنوبية واستراليا وانتاركتيكا وأطلق عليها اسم جندوانا. وكان يفصل بين الكتلتين بحر قديم هو بحر تيتس ولكن هذا

الفصل لم يكن تاماً فقد كان أشبه بذراع مائى ضخم متدخل يشبه البحر المتوسط الحالى. وكانت بنجايا خلال العصر الكربونى تتركز حول القطب الجنوبى الذى كان موقعه فى ذلك الوقت فى اقليم ناتال بجنوب افريقيا وكانت دائرة الاستواء وقتئذ تمر بالأطراف الشمالية لهذه الكتلة الكبيرة. وخلال العصر الكربونى الأعلى تكسرت هذه الكتل الكبيرة عدة انكسارات ثم تزحزحت أجزاؤها المتكسرة مبتعدة عن بعضها البعض. وكان هذا التزحزح فى اتجاهين: الأول ناحية الشمال نحو الدائرة الاستوائية نتيجة لقوة الطرد المركزية. والثانى ناحية الغرب نتيجة لقوة المد الذى تحدثه جذب الشمس والقمر لكتلة الأرض. وقد أدت القوة الأولى إلى تحرك استراليا والهند وافريقيا إلى الشمال والقوة الثانية حركت الأمريكتين نحو الغرب إلى وضعهما الحالى (شكل ٤٤).

(أ)

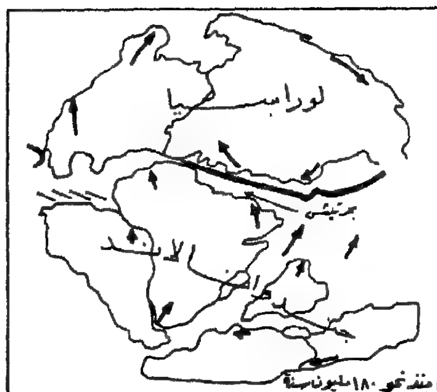


شكل (٤٤أ)

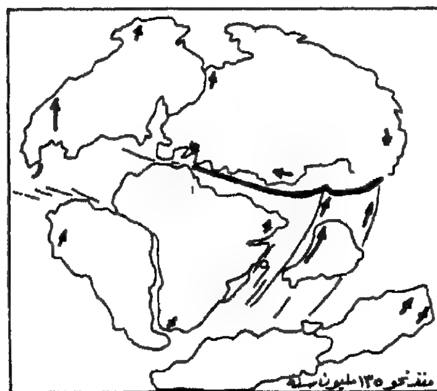
تطور توزيع اليابس والماء حسب نظرية الزحزحة القارية

كما وضعها الفريد لوثر فاجنير عام ١٩١٢

(٢)



(٣)

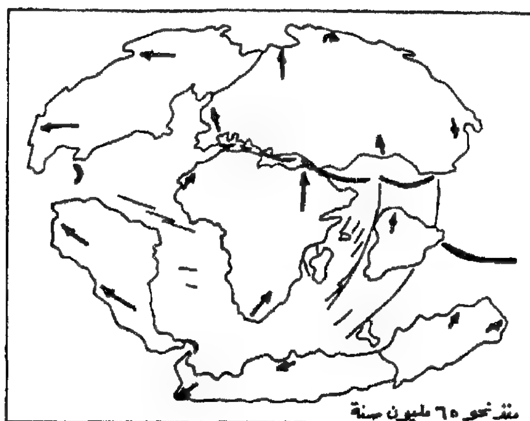


تابع شكل (١٤٤أ)

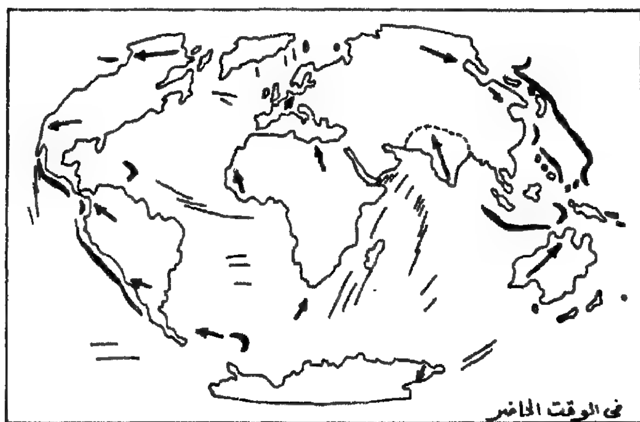
تطور توزيع اليابس والماء حسب نظرية الزحزحة القارية

كما وضعها ألفريد لوثر فاجنير عام ١٩١٢

(٤)



(٥)



تابع شكل (١٤٤أ)

تطور توزيع اليابس والماء حسب نظرية الزحزحة القارية

كما وضعها ألفريد لوثر فاجنير عام ١٩١٢



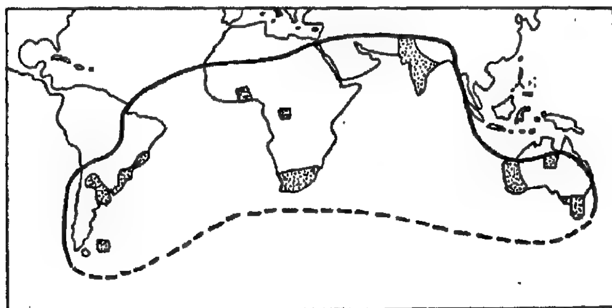
شكل (٤٤ ب)

توزيع الكتل الصلبة القديمة في العصر الترياسي

وقد استطاع فاجنر بنظريته أن يفسر الكثير من الحقائق الجغرافية والمناخية والجيولوجية، وتعتبر تلك الحقائق أدلة لصالح نظريته، والتى يمكن تلخيصها فيما يلى:

١- وجود الحفريات النباتية المعروفة باسم جلوسوبتريس Glossoptris ووجود حفريات الميزوسورس Misosaurus فى شرق أمريكا الجنوبية وفى جنوب أفريقيا، ووجود بعض الأنواع الحيوانية التى تنحدر من أصل واحد والمنتمية إلى عائلة الكانجارو والأوبوسيم فى قارات نصف الأرض الجنوبى فقط استراليا وجنوب أفريقيا فى أمريكا الجنوبية واختفائها من النصف الشمالى، رغم انفصال تلك القارات بمساحات شاسعة من مياه المحيطات. والسبب كما يراه فاجنر أن القارات الجنوبية كانت متصلة ببعضها ومكونة للكتلة الكبيرة من اليابس وهى كتلة جندوانا.

٢- أثبتت الدراسات الجيولوجية أن هناك آثار جليد ومخلفات جليدية تنتمى إلى العصر الكربونى فى جنوب أفريقيا دليل على أن هذه المناطق كانت ترزح تحت غطاء جليدى سميك. وقد علل فاجنر ذلك بأن القطب الجنوبى كان موقعه فى هذه المنطقة (منطقة ناتال فى جنوب أفريقيا) ومن ثم فإن الظروف المناخية القطبية قد سادت هذا الجزء من اليابس وتركت آثارها عليه (شكل ٤٥).



شكل رقم (٤٥)

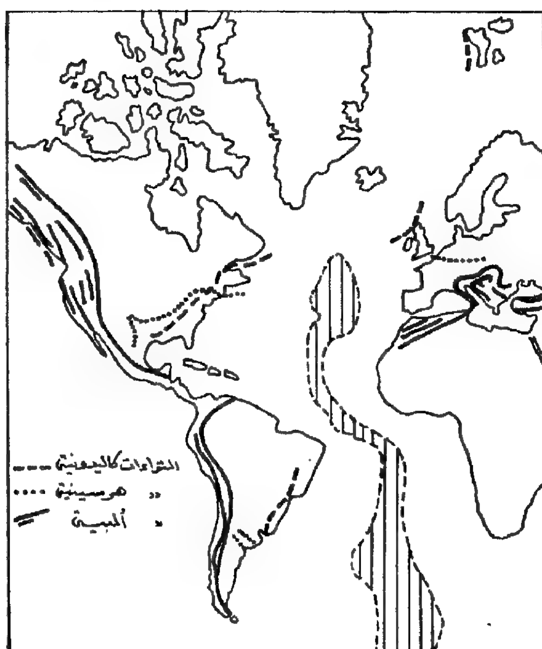
امتداد قارة جندوانا خلال العصر الفحمي - الأجزاء المظللة تبين الغطاءات الجليدية

٣- بينت الدراسات الجيولوجية والنباتية القديمة أن جزيرة سبتزبرجن التى يسودها المناخ القطبى فى الوقت الحاضر يوجد بها بقايا لحياة نباتية غنية تشبه نباتات الاقليم الاستوائى (أشجار المنجوليا ونخيل الزيت والأشجار ذات الأوراق العريضة) كما يوجد بهذه الجزيرة أيضاً حفريات نباتات الكالاماتيس التى تعيش فى الاقليم الاستوائى. وفوق هذه البقايا النباتية الاستوائية، توجد آثار نباتات تشبه تلك النباتات التى تنمو فى فرنسا فى الوقت الحاضر (مناخ معتدل بارد نظام غرب أوربا). أى أن درجة حرارة الجزيرة كانت أعلى من درجة حرارتها الحالية بحوالى ٣٠°م، ٢٠°م على التوالى فى الحالتين وهذا يتفق تماماً مع ما ذكره فاجنر من أن دائرة الاستواء كانت تمر بالأطراف الشمالية لكتلة بنجايا فى الكربونى الأسفل ثم تزحزحت هذه الأطراف نحو الشمال فتغيرت الأحوال المناخية إلى المناخ الشبيه بمناخ فرنسا حالياً. ومعروف أن جزيرة سبتزبرجن تقع على الأطراف الشمالية لكتلة أوراسيا الحالية.

٤- استطاع فاجنر بعد أخذه بفكرة تغير مواضع القطبين وبالتالى تغير موضع الاستواء أن يفسر السبب فى وجود التكوينات الفحمية فى اوربا وآسيا وامريكا الشمالية. فوجود الفحم فى أى منطقة من المناطق يعتبر فى الواقع نتيجة لسيادة المناخ الاستوائى بخصائصه النباتية. وقد سبق أن ذكرنا أن الاستواء كان يمر بالأطراف الشمالية لكتلة بنجايا وهذه الأطراف تتفق مع نطاق فحم موسكو الذى يمر فى جزيرة سبتزبرجن وحقول فحم اسكتلنده وحقول سيليزيا بألمانيا وحول مدينة موسكو. وهذه التكوينات الفحمية كلها تنتمى إلى العصر الكربونى الأسفل. وعندما بدأت الأجزاء المتكسرة فى التزحزح نحو الشمالى فى العصر الكربونى الأعلى أصبح الاستواء يمر فى جهات تقع إلى الجنوب من نطاق الفحم السابق وقد أدى هذا إلى سيادة المناخ الاستوائى فتكون نطاق آخر من الفحم إلى الجنوب من نطاق فحم الكربونى الأسفل، وهذا النطاق تنتمى إليه حقول الفحم الرئيسية فى أمريكا الشمالية وأوربا وشمال الصين.

٥- استطاع فاجنر بواسطة نظرية الزحزحة أن يفسر ظاهرة التشابه الواضح بين ساحلى المحيط الأطلسى الشرقى والغربى فالأدلة واضحة على تشابه الساحلين فى بنيتهما وامتداد جبالهما وصخورهما وتاريخهما الجيولوجى. فجبال

الأبلاش مثلا التى تمتد بموازاة الساحل الغربى للمحيط الأطلسى الشمالى تسير فى اتجاه من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى ثم تقطع الساحل وتظهر فى جزيرة نيوفوندلند وتشرف على مياه المحيط بحافة مرتفعة وكأن هناك سكين ضخم قد قطعها. ويتمثل امتداد هذه الجبال فى سلسلة جبال شمال ايرلنده وسلسلة جبال اسكتلندا وسلسلة جبال اسكنديناوه على الساحل الشرقى للمحيط. وكذلك جبال جيانا فى أمريكا الجنوبية مع جبال الأطلس فى افريقيا (شكل ٤٦).



شكل (٤٦)

تكامل خطوط الالتواءات في السواحل الشرقية والغربية للمحيط الأطلسي

وقد واجهت هذه النظرية عدة اعتراضات هامة هي :

١- ان جزيرة جوان فرندناندو الواقعة في المحيط الهادي إلى الغرب من مدينة فالباريزو على الساحل الغربي لشيلي لا تتشابه اطلاقاً من الناحية النباتية مع ساحل شيلي المواجهة لها في الشرق رغم قصر المسافة ولكنها تتشابه مع الحياة النباتية في جزر نيوزيلند وتيرادل فويجو. وقد علل فاجنر هذا بأن قارة أمريكا الجنوبية هي التي اقتربت نتيجة لتزحزحها صوب الغرب من جزيرة جوان فرناندو الثابتة مكانها ولذلك تختلف اختلافاً بينا عنها من الناحية النباتية.

٢- ان القوة التي سببت الزحزحة إلى الغرب وهي قوة المد التي نجمت عن جذب الشمس والقمر للأرض لابد أن تكون من الشدة بحيث تقدر على جذب الأمريكتيين نحو الغرب ولكي تتمكن هذه القوة من ذلك يجب أن تكون قدر قوة جذب الشمس والقمر الحالية للأرض عشرة آلاف مليون مرة، وليس هناك من الشواهد ما يدل على ذلك. وان حدث هذا فإن هذه القوة كفيلة بإيقاف دوران الأرض تماماً لمدة عام. وينطبق هذا أيضاً على قوة الطرد المركزية المسئولة عن تزحزح الكتل القارية المنكسرة نحو الشمال.

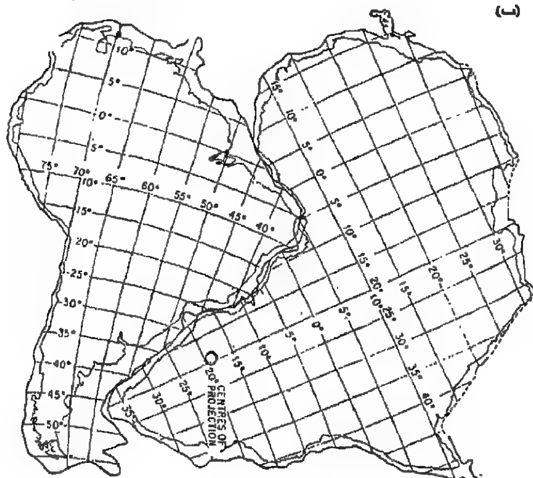
٣- بالغ فاجنر كثيراً عند توضيح ظاهرة انطباق ساحلي المحيط الأطلسي الشرقي والغربي إذ أنه على الرغم من أن هناك تشابهاً عاماً بين الساحلين إلا أن هناك فرقاً بين انفراج زوايا ساحل البرازيل وضلعي ساحل خليج غينيا قدره ١٥° (شكل ٤٧).

اضافات رنكورن لنظرية الزحزحة :

اعتمدت نظرية الزحزحة على الدراسات المناخية والنباتية القديمة التي تؤكد أن منطقة القطب الشمالي كانت تتمتع بجو استوائي مزدهر والمناطق الاستوائية الحارة حالياً كانت تعاني من جوقارس يخيم عليه شتاء المناطق القطبية. وعزز هذا التأكيد وجود آثار زحف جليدي في جنوب أفريقيا مما حدى



(ب)



شكل (٤٧)

(أ) الانطباق النسبي (التقريبي) بين سواحل المحيط الأطلسي الشرقية والغربية

(ب) تطابق حضيض المنحدر القاري لكل من قارتي افريقيا وامريكا الجنوبية عند عمق ٢٠٠٠ متر تحت مستوي سطح البحر

بفاجنر القول بأن موقع القطب الجنوبى فى العصر الكربونى كان اقليم ناتال بجنوب أفريقيا. فهل هناك دليل آخر يؤكد أن المحور المغناطيسى للكرة الأرضية كان يتغير على مدى العصور الچيولوچية؟.

وقد اكتشف ستانلى كيث رنكورن الذى كان مهتماً بدراسة تاريخ المغناطيسية الأرضية أثناء قياساته الميدانية للمغناطيسية الأرضية فى الطفوح البركانية فى شبه جزيرة الدكن بالهند واثيوبيا بأفريقيا وكلوراد وحوض نهر سنيك بأمريكا الشمالية ملايين من الحفريات المغناطيسية – أى حبات وذرات من الحديد الممغنط – انحرفت نحو القطبين المغناطيسيين للأرض عندما خرجت أثناء تدفق الحمم البركانية من باطن الأرض إلى سطحها، وكانت هذه الحبات مطمورة فى الهضاب والأغوار. ففى عصور تلك التدفقات البركانية اتجهت تلك الحبات نحو القطبين المغناطيسيين على شكل صف عندما بردت الحمم. وتجمدت تلك الحبات الحديدية الممغنطة فى أوضاعها والتى ستبقى فيها ما بقيت الصخور التى تحتويها.

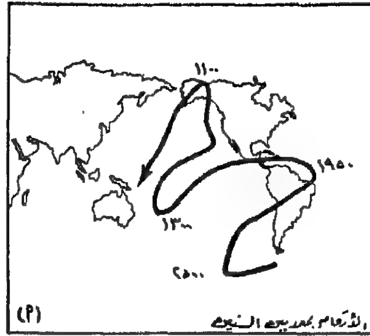
وكما أن الحفريات الصدفية والعظمية تسجل شكل الكائنات الحية التى انقرضت منذ آماد طويلة فإن هذه الحفريات المغناطيسية حددت بالضبط القطبين المغناطيسيين والمجال المغناطيسى فى زمنها. وتمكن رنكورن بهذه الابر المغناطيسية الطبيعية أن يقرأ ويسجل التغيرات فى محور الأرض المغناطيسى. وتتبع رنكورن أيضاً الصخور الرسوبية التى تصخرت من المفتتات التى انجرفت بواسطة عوامل التعرية من الرواسب البركانية القديمة إلى شواطئ البحيرات والبحار، ولاحظ أن حبات الحديد قد صفت نفسها مرة أخرى فى اتجاه القطبين المغناطيسيين للأرض عند وقت الترسيب. وعندما تصلبت المواد المترسبة وتحولت إلى أحجار صلده ظلت الحبات ثابتة فى الأوضاع التى اتخذتها وهى تشير إلى القطبين، وستبقى محتفظة بأوضاعها إلى أن تتفتت هذه الصخور مرة أخرى ويعاد ترسيبها لتأخذ هذه الحبات الممغنطة وضعاً جديداً تبعاً لمغناطيسية الأرض وقت الترسيب الجديد.

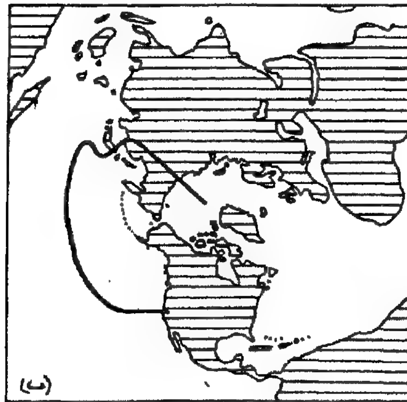
ويشير فحص تلك المغناطيسيات التى بالصخور فى مختلف الأماكن حول الأرض إلى أنه حدثت تغيرات فى محور الأرض المغناطيسى خلال الستمائة

مليون سنة الأخيرة (وهى فترة الحياة على سطح الكوكب)، بل انه خلال الزمن الثالث تبادل القطبان المغناطيسيان الشمالى والجنوبى مكانهما عدة مرات. فقد وجد رنكورن أن المحور المغناطيسى كان يغير زاويته وكان القطبان المغناطيسيان يتحركان ببطء وبالتدريج خلال التاريخ المغناطيسى الذى استطاع أن يجمعه من الصخور. فقد كانت حبات الحديد الممغنطة تشير فى العصور المختلفة إلى أوضاع مختلفة للقطبين المغناطيسيين. وقد أمكن تتبع القطب الشمالى المغناطيسى من موقع مقابل لساحل كاليفورنيا كان يشغله منذ ستمائة مليون سنة إلى نقطة فى وسط المحيط الهادى منذ خمسمائة مليون سنة إلى نقطة على الساحل الآسيوى منذ زمن يتراوح بين مائتى مليون وثلثمائة مليون سنة إلى أخرى بالقرب من القطب الجغرافى فى وقتنا الحاضر(شكل ٤٨). ويرى رنكورن أن هذه الازاحة فى المحور المغناطيسى وما يتبعها من تغير فى موضع القطبيين المغناطيسيين لا يمكن أن تحدث إلا إذا تغير محور دوران الأرض حول نفسها أى أن الأرض قد ترنحت وأن تيارات الحمل - التغيرات شديدة البطء التى تحدث فى المائتل - قد تجعل الأرض كلها تميل ببطء شديد (شكل ٤٩).

وإذا كانت الأدلة التى ساقها رنكورن صحيحة فإنها تزود علماء المناخ والنبات القديم بأدلة دقيقة تثبت التغيرات المناخية التى حدثت فى العصور الجيولوجية وأنها تعلل وجود آثار الأشجار الاستوائية تحت جليد جرينلند وفى جزيرة سبتزبرجن. وقد غاصت جذور الأشجار الكثيفة وأوراقها وبقايا أشجار لا حصر لها فى مستنقعات كبيرة وتعفنت فيها لتكون طبقات الفحم السميكة التى تقع اليوم تحت جليد سبتزبرجن.

وقد أيدت الدراسات الفلكية الحديثة امكان حدوث مثل هذا الترنح الكونى خلال تاريخ الأرض الطويل، حيث أن زيادة الوزن من بعض الأماكن - نتيجة لفترة جليدية مثلاً - يحدث اضطرابات فى دوران الأرض حول محورها، وأن أى تغير طفيف فى القشرة - تكوين جبال - يكفى لإحداث تمايل تترنح خلاله الأرض حتى تصل إلى وضع اتزان جديد فتكف عن التمايل.



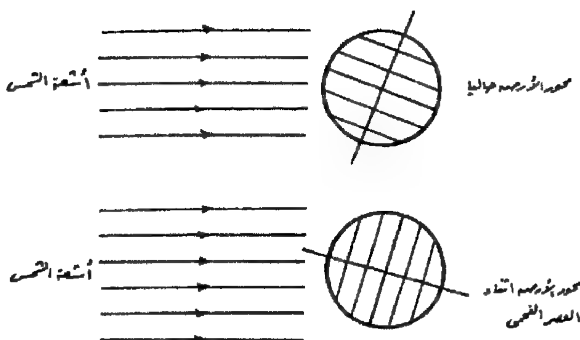


شكل (٤٨)

القطب الجوال

أ - القطب الجوال فيما قبل الكامبري

ب- القطب الجوال خلال الـ ٦٠٠ مليون سنة الأخيرة



شكل (٤٩)

الأرض تترنح؛ في العصور الماضية، كان القطب الشمالي يواجه الشمس. ونبتت الأشجار الاستوائية بالقرب من جرينلند وفي سبيتزبرجن بينما كانت حقول وأنهار الجليد تغطي المناطق الاستوائية

نظرية الألواح التكتونية Plate Tectonics Theory :

تقوم نظرية الألواح التكتونية على المعلومات المتوافرة حالياً عن طبيعة باطن الأرض. وقد عرفنا سابقاً أن درجة حرارة الأرض ترتفع تدريجياً بصفة عامة من خط الحرارة الأرضى الثابت إلى نواة الأرض بمعدل ٣٠°م لكل كيلو متراً واحداً. ولكن لا ينطبق ذلك على كل أعماق الأرض بل توجد فقط فى بضع من الكيلو مترات العليا من الأرض. ولولا هذا لبلغت درجة حرارة النواة حداً عالياً ولانصهرت الأرض وتحولت إلى كتلة غازية. وقد لاحظ الدارسون أن قيم التدرج الحرارى تتناقص كلما تعمقنا فى باطن الأرض. فعلى سبيل المثال النظرى يجب أن تصل درجة حرارة باطن الأرض عند عمق ١٠٠ كم إلى ٣٠٠٠°م ولكنها فى الواقع تتراوح بين ١١٠٠° ، ١٢٥٠°م. وتوجد عند هذا العمق طبقة الاثينوسفير (الطبقة الضعيفة) التى تحتوى على جيوب

مصهورة من الماجما، وتعتبر مراكز تغذية البراكين. ولو تجاوزت درجة الحرارة عند هذا العمق ١٥٠٠°م لانصهرت أغلب الصخور ولما استطاعت الموجات الزلزالية الثانوية اختراق تلك الطبقة وتجاوزها. وهكذا يلاحظ أن التزايد في درجة الحرارة مستمر نحو مركز الأرض ولكن بمعدل بسيط ومحدود مما يسمح بتماسك كتلة الأرض.

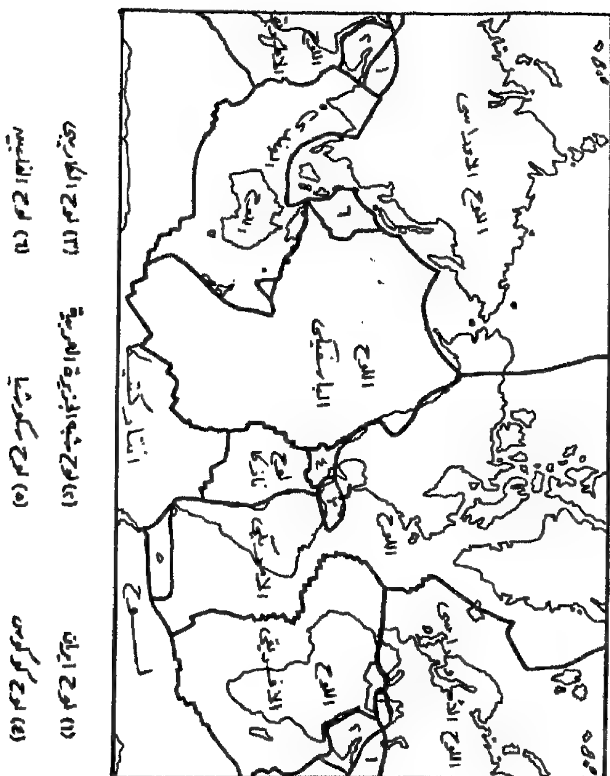
ومن دراسة طبيعة مواد باطن الأرض والتعرف على قيم الضغط الهائلة في باطنها يمكن افتراض أن درجة الحرارة عند حد جوتنبرج بين الوشاح والنواة الخارجية تصل إلى ٣٧٠٠°م، وعند الحد بين النواج الخارجية والنواة الداخلية تصل إلى حوالي ٤٣٠٠°م وأعلى من ذلك عند مركز الأرض. وقد انعكس التفاعل بين تزايد درجة الحرارة نحو مركز الأرض وتزايد الضغط في الوقت نفسه على الظروف الفيزيائية للمادة في باطن الأرض، إذا يلاحظ أن القسم السفلي من القشرة الأرضية صلب ومتبلور حيث يمنع التزايد في الضغط انصهار الصخور، أي أن درجة الحرارة هنا أقل من درجة حرارة انصهار الصخور. ولكن يصادف في بعض الأماكن ضمن القشرة الصخرية الصلبة جيوباً تتناقص فيها سرعة الموجات الزلزالية بشكل واضح مما يؤكد وجود بؤر منصهرة تعد جيوباً بركانية تندفع منها الماجما والغازات نحو سطح الأرض.

وتشير سرعة الموجات الزلزالية إلى صلابة طبقة الوشاح بصفة عامة حيث شدة وارتفاع الضغط تمنع الصخور من بلوغ درجة الانصهار، وإلى وجود طبقة ضعيفة هي طبقة الاثينوسفير التي تقترب صخورها من درجة الانصهار ولكنها لا تنصهر بل تصبح لدنة، ولكن يقدر أن نسبة تصل إلى ١٠ ٪ من كتلتها في حالة انصهار فعلي. أما نواة الأرض الخارجية فهي ليست صلبة ويعتقد أنها في حالة سيولة، إلا أن تزايد سرعة الموجات الزلزالية بالاقتراب من النواة الداخلية يثبت أن النواة الداخلية صلبة.

وهكذا نلاحظ تعاقباً واضحاً في بنية الأرض بسبب اختلاف الظروف الفيزيائية. فالقشرة الأرضية صلبة وتحتها الطبقة الضعيفة (الاثينوسفير) اللينة ثم الوشاح الصلب ثم النواة الخارجية التي تشبه الأثينوسفير في ظروفها

الفيزيائية ثم النواة الداخلية الصلبة. ولكن يجب الإشارة إلى أن طبقتى الوشاح والنواة الداخلية المتصفتان بالصلابة تتصفان أيضاً بالمرونة لارتفاع درجة حرارتيهما. لذا تتولد فيهما تيارات حمل حرارية حركية، والمواد فيهما فى حركة دائمة بطيئة جداً من أسفل إلى أعلى حيث تتبرد وتعاود الهبوط إلى أسفل. وتقدر الحركة فى طبقة الوشاح ببضع سنتيمترات فى السنة. ويصل تأثير هذه الحركة إلى القشرة الأرضية الصلبة غير المتجانسة من خلال الطبقة الضعيفة (الاثينوسفير) الموجودة بينهما. وتستجيب القشرة الأرضية لحركة الوشاح بدرجات مختلفة، وفى كثير من الأقاليم لا يمكنها أن تجارى تلك الحركة فتتشقق وتتكسر فى شبكة هائلة من الصدوع المزدوجة العملاقة والتى تكوّن بينها أخاديد عميقة. وتمتد تلك الصدوع العملاقة لآلاف الكيلومترات فى جميع الاتجاهات بأعماق تتراوح بين ٦٥، ٧٠كيلومتراً تحت قيعان كل المحيطات وبعض من البحار مثل البحر الأحمر، وبين ١٠٠، ١٥٠ كيلو متراً تحت القارات. وتمزق تلك الصدوع الغلاف الصخرى للأرض إلى وحدات بنائية صخرية تعرف بالألواح أو الصفائح Plates وتبدأ فى التحرك حسب اتجاه حركة مواد الوشاح وتيارات الحمل المتولدة فيه. وتدفع هذه الحركة الدائبة بكل لوح إلى التباعد عن اللوح المجاور فتشكل ظاهرة اتساع قيعان المحيطات، وفى نفس الوقت مصطدماً فى الجانب المقابل باللوح المجاور فتتكون سلاسل جبلية، ومنزلقاً عن الألواح المجاورة فى الجانبين الآخرين.

ويبلغ عدد الألواح التكتونية حوالى مائة لوح تختلف فى امتدادها ومساحتها وشكلها وحجمها. وتتكون الألواح الرئيسية الكبرى ذات المساحة الضخمة والامتداد العظيم من قشرة قارية وقشرة محيطية مثل اللوح الأوراسى واللوح الأفريقى واللوح الأمريكى بجزئية أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية واللوح الاسترالى الهندى ولوح انتاركتيكا. كما تتكون بعض الألواح من قشرة محيطية فقط مثل لوح المحيط الهادى وهو أضخم الألواح ولوح نازكا الذى يقع إلى الغرب من أمريكا الجنوبية. أما الألواح الثانوية الصغيرة فقد تكون قارية مثل لوح شبه الجزيرة العربية ولوح ايران ولوح الأناضول ولوح التبت، وقد تكون محيطية مثل لوح الفلبين ولوح كوكوس ولوح الكاريبى ولوح بحر ايجه (شكل ٥٠).

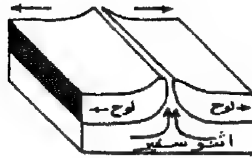


شكل (٥٠)

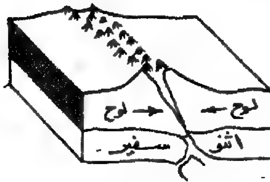
الألواح التكتونية

وقد تمكن الدارسون من التعرف على ثلاثة نماذج لحركات الألواح ترتبط بأربعة أشكال لحوافها والتى تحدث على طول امتدادها كل التغيرات الرئيسية ويرتبط بها ظاهرات بنائية متعددة، كما تعد الأقليم الرئيس للنشاط البركانى والزلازل (شكل ٥١).

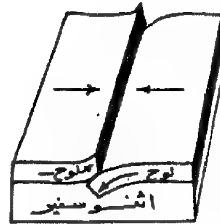
١- الألواح المتباعدة: حيث تتحرك الألواح بعيداً عن بعضها فى اتجاهين متضادين تاركة فيما بينها شق عميق يندفع جانباه إلى أعلى عند اندفاع الماجما من طبقة الأثينوسفير والخروج على شكل طفح بركانى يملأ الشق ويعمل على تباعد جانباه، ويغطى الأطراف المجاورة له من اللوحين. وهذا الطفح من النوع الثيوليتى ويعرف باللافا البازلتية الثيوليتية. وعندما تبرد تلك الطفوح تعطى شريحة قشرية جديدة. وبذلك فإن الانفصال والتباعد المتتابع واستمرار الامتلاء يضيف قشرة جديدة بين الألواح المتباعدة. ويلاحظ فى هذه الحالة أن الطفوح المجاورة للشق أحدث عمراً من الطفوح البعيدة على الجانبين، وهذه الأخيرة أحدث عمراً من الطفوح على الأطراف الخارجية (شكل ٥٢). وتشكل تلك الطفوح السلاسل الجبلية المحيطية الوسطى التى تمتد لأكثر من ٦٤ ألف كيلو متر والتى من أعظمها وأشهرها السلسلة الأطلسية الوسطى التى تمتد طولياً آلاف الكيلو مترات والتى تقسم حوض المحيط الأطلسى إلى قسمين شرقى وغربى. وتتميز تلك السلاسل الجبلية بجوانبها شديدة الوعورة والانحدار على خلاف القاع المحيطى المتاخم حيث تمتد سهول القاع العميق التى تتميز بقلة التضرس. ويحتل قمة السلسلة المحيطية الوسطى وعلى طول امتدادها وادى أخدودى عميق شديد انحدار الجانبين والذى يمثل الشق العميق الذى تخرج منه الماجما. ولا تظهر أعالى وقمم السلاسل المحيطية الوسطى فوق سطح مياه المحيط إلا فى حالة جزيرة أيسلند. ويبين (شكل ٥٣) بروز وتباعد أجزاء جزيرة أيسلند جانبياً عن بعضها البعض فى نفس الوقت الذى عملت فيه اللافا المدبثقة من أسفل على تلاحم أجزاء الجزيرة. وتتعرض السلاسل المحيطية الوسطى إلى صدوع وانكسارات جانبية تقطعها عرضياً تعرف بالانكسارات المتغيرة



١- الألواح المتباعدة

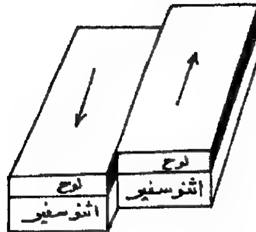


(ب)



(أ)

٢- الألواح المتقاربة



٣- الألواح على جانبي الكسر العرضي

شكل (٥١)

نماذج حركة الألواح التكتونية



شكل (٥٢)

أعمار الطفوح علي جانبي كل من سلسلة الأطلسي الوسطي وسلسلة جنوب شرق الهادي



شكل (٥٣)

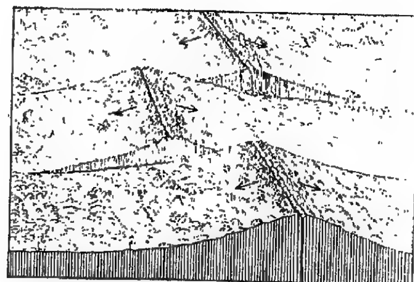
قمم السلسلة الأطلسية الوسطي في جزيرة أيسلند (لاحظ أن القشرة البركانية في الوسط أحدث عمراً من القشرة البركانية علي الجانبين، كما أن الأشرطة المغناطيسية المرتبطة بالنشاط البركاني أحدث عمراً في الوسط)

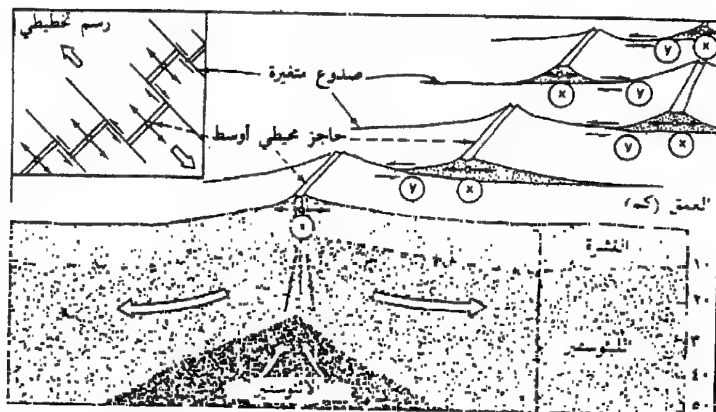
Transform Faults (شكل ٥٤)، وبهذه الطريقة انفتح وتشكل قاع المحيط الأطلسى خلال فترة الـ ٢٠٠ مليون سنة الماضية (شكل ٥٥) . وقد قام ويلسون بحساب معدل تباعد جانبى الوادى الاخدودى العميق ووجد أنه حوالى ٥ سم فى السنة، وعلى الرغم من هذا المعدل البطئ فإن سرعته تكفى لفتح وإعادة إغلاف المحيط الأطلسى أكثر من مرة خلال تلك الفترة.

وعند تكسر القشرة على طول مناطق انفصال القارات وتباعد أجزائها فى اتجاهين متضادين تنبثق اللافا البازلتية عبر الشقوق وتكوّن هضاب متسعة. ومن أبرز أمثلة تلك الهضاب البازلتية هضبة الدكن فى شبه القارة الهندية الباكستانية، وهضبة انتريم فى شمال شرق جزيرة ايرلند والتى تكونت منذ حوالى ٥٠ – ٥٥ مليون سنة عبر الشقوق والفتحات التى أدت إلى تكوين المحيط الأطلسى الشمالى. ويبين (شكل ٥٦) التوزيع الجغرافى للهضاب البازلتية الثيوليثية فى قارات نصف الأرض الجنوبى.

ومراكز تباعد الألواح التى تتمركز عند قمم السلاسل المحيطية الوسطى ليست قديمة كلها. فقد تشكل البحر الأحمر حديثاً نتيجة انفصال شبه الجزيرة العربية عن القارة الأفريقية. ويوجد فى القسم الأوسط منه أخدود صدعى واضح المعالم أمكن تحديد أبعاده عن طريق ملاحظة ارتفاع درجة حرارة المياه العميقة المجاورة له إلى ٥٦°م وارتفاع نسبة الملوحة إلى ٢٥٦ جزء فى الألف بينما يصل معدل ملوحة مياه البحر الأحمر إلى ٤٢ جزء فى الألف. وكذلك أخاديد شرق أفريقيا (الاخدود الأفريقى العظيم)، وأيضاً منطقة بحيرة بايكال، كما تتصف مناطق التباعد بنشاط بركانى حديث، إذ تظهر بعض البراكين فوق مستوى سطح الماء على شكل جزر مثل جزيرة سورتسى Surtsey التى ظهرت من أعماق المحيط للمرة الأولى عام ١٩٦٣ . وتتميز اللافا المنبثقة منها أنها لافا قلوية يدخل فى تركيبها الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم.

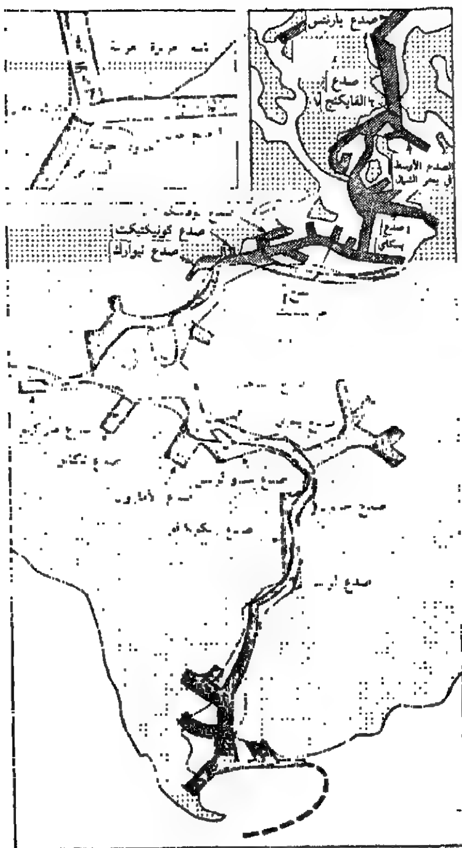
وقد اختلف الدارسون فى تحديد القوى المسئولة عن حركة تباعد الألواح . فقد أرجعها هولمز إلى حركة التيارات الحمل الحرارية الصاعدة Convectional Currents فى مواد الوشاح، وأرجعها بعض الدارسين إلى وجود تيارات حرارية دوامية الحركة Geothermal Turbulance. وقد أرجعها هانز كلوس بناء على تجاربه المعملية إلى حدوث عمليات شد بفعل تكوّن انتفاخات Plumes حرارية ساخنة فى مواد الوشاح ينجم عنها حدوث حركات رفع من أسفل إلى أعلى وتكوين قباب ثم انكسارها واندفاع جانبا الكسر إلى أعلى ثم انسحابهما جانبياً إلى





شكل (٥٤)

الصدوع المستعرضة المتغيرة

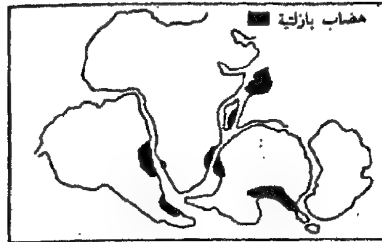


شكل (٥٥أ)

انفتاح المحيط الأطلسي نتيجة الصدع المزدوج الاخدودي والصدوع المستعرضة المتغيرة (ذات الأذرع الثلاث)

تابع شكل (٥٥ب) انفتاح البحر الأحمر نتيجة حركة التباعد على جانبي الأخدود الأفريقي العظيم في شرق افريقيا وجنوب غرب آسيا. مثال واضح للألواح المتباعدة

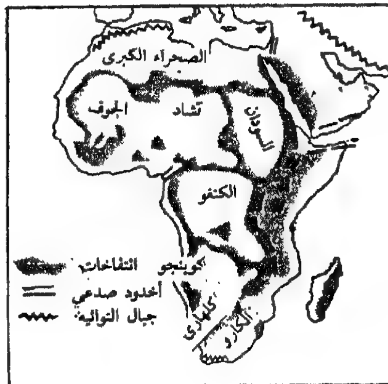
- في البحر الأحمر تتباعد شبه الجزيرة العربية عن القارة الأفريقية بمعدل ٢٠ ملليمتر/ السنة.
- في منطقة بحيرة بارينجو تتباعد الحافة الشرقية للأخدود عن الحرفة الغربية بمعدل ملليمتر واحد / السنة.



شكل (٥٦)

الهضاب البازليتية في نصف الأرض الجنوبي

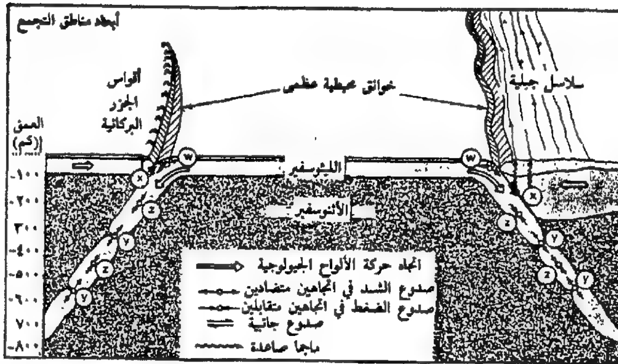
الخارج. وتعد تلك الانتفاخات الساخنة هي مصدر القوى الميكانيكية المسئولة عن تكسر الألواح التكتونية وحركتها جانبياً. على سبيل المثال استطاع الدارسون تحديد نحو ستة انتفاخات ساخنة عظمى أسفل قارة أفريقيا تعد المسئولة عن النظام التضاريسي للقارة (شكل ٥٧).



شكل (٥٧)

مناطق الانتفاخات الساخنة العظمى وارتباطها بالأحواض والمرتفعات في قارة أفريقيا

٢- الألواح المتقاربة، ينتج عن تباعد الألواح تحرك الحافتان الأماميتان للوحين المتباعدين فى اتجاهين متضادين بفعل قوة الشد، وفى نفس الوقت فإن طرفيهما الخلفيين يتحركان باتجاه بعضهما البعض أي فى اتجاهين متقابلين. وفى المواقع التى تتلاقى وتتقابل عندها الألواح فإنها تتعرض لقوى ضغط شديدة. وتعد منطقة الالتقاء منطقة نشاط زلزالى وعمليات بركنة نشطة (شكل ٥٨). وهناك ثلاث حالات لتقارب الألوالح واصطدامها :

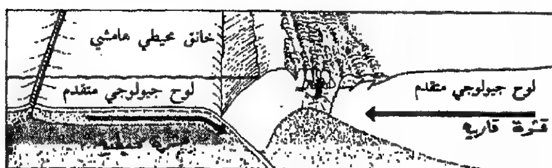


شكل (٥٨)

نموذج للألواح المتقاربة، وتعد منطقة الالتقاء منطقة نشاط زلزالي وعمليات بركنة نشطة

(أ) عند التقاء قشرة قارية بقشرة محيطية، فإن القشرة المحيطية تغطس تحت القشرة القارية لارتفاع كثافة موادها وتغوص في الأثينوسفير الحار مما يجعلها تأخذ فى الانصهار. وينتج عن ذلك تحرك رأسى للماجما المنصهرة التى تصعد إلى أعلى على شكل انبثاقات وطفوح بركانية. وتطفو القشرة القارية الأقل كثافة فوق القشرة المحيطية أى تتراكب Overriding فوقها وتظهر حافتها عند منطقة الالتقاء على شكل سلسلة جبلية.

ويعتقد أن الحافة الغربية للوح الأمريكى القارى قد انضغطت واندفعت إلى أعلى وتراكبت فوق لوح المحيط الهادى ولوح نازكا المحيطى فتكونت سلاسل جبال الكورديلليرا فى أمريكا الشمالية وجبال الأنديز فى أمريكا الجنوبية نتيجة لهذا التقارب والاصطدام. وفى نفس الوقت اندفع لوح نازكا وغطس إلى أسفل وانصهرت حوافه التى غاصت فى الأثينوسفير. ويدل على ذلك النشاط الزلزالى والطفوح البركانية المنتشرة فى تلك السلاسل الجبلية. وينشأ عن انزلاق وغطس حافة اللوح المحيطى تحت اللوح القارى وسحب أطراف اللوح الأخير معه خانق محيطى عميق Trench يوازى السلسلة الجبلية التى نشأت على اللوح القارى مثل خانق بيرو - شيلى الذى يوازى جبال الانديز. وتعرف منطقة الخانق بمنطقة الهبوط أو منطقة الغطس أو منطقة الابتلاع Subduction Zone (شكل ٥٩).

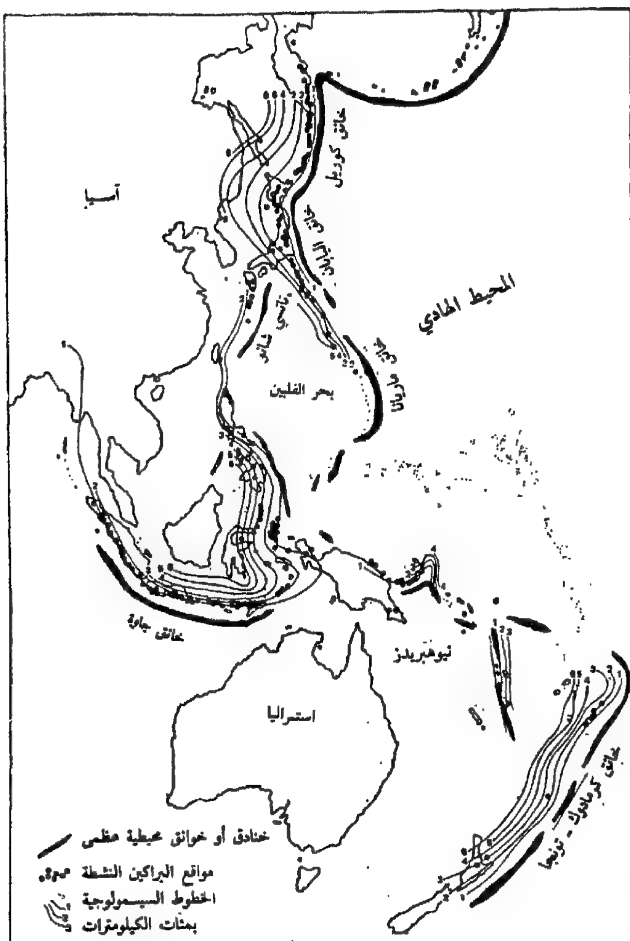


شكل (٥٩)

نموذج التقاء قشرة قارية بقشرة محيطية ونشأة كل من السلسلة الجبلية والخانق المحيطي

وكذلك ينشأ عن هذه الحركة خانق محيطى عميق يوازيه قوس جزرى بدلاً من السلسلة الجبلية مثل خانق الفلبين وقوس جزر الفلبين، وخانق اليابان وقوس جزر اليابان، وخانق الكوريل وقوس جزر الكوريل، وخانق الألوشى- الاسكا وقوس جزر ألوشيان.

(ب) عند التقاء قشرة محيطية بقشرة محيطية تنشأ منطقة هبوط على شكل خانق محيطى عميق يصاحبها نشاط زلزالى وبركانى وتندفع الطفوح البركانية وتكون أقواساً جزرية مجاورة وموازية للخوانق المحيطية. مثل خانق تونجا - كيرمادك ويوازيه قوس جزر تونجا - فيجى، وخانق مريانا ويوازيه قوس جزر مريانا (شكل ٦٠).



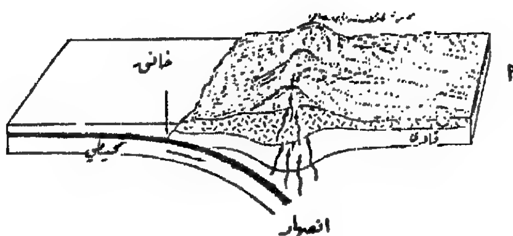
شكل (٦٠)

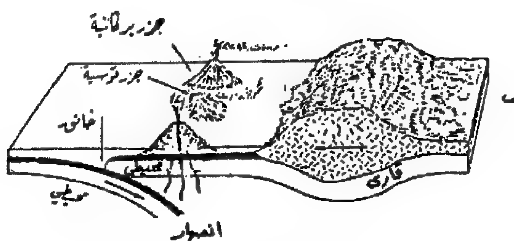
أقواس الجزر والخوانق المحيطية في الجانب الغربي من المحيط الهادي

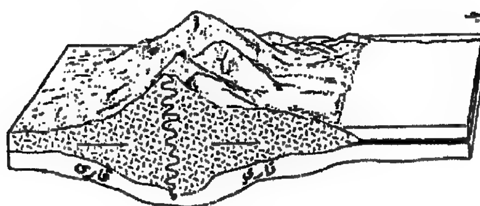
(جـ) عند التقاء قشرة قارية بقشرة قارية يصطدمان بدلاً من انزلاق أحدهما وغوصه تحت الآخر، ويؤدى التماس الطويل بين القشرتين القاريتين إلى التحامهما. وقد أدى اصطدام اللوح الاسترالى الهندى باللوح السيبيرى ولوح التبت (لوح ثانوى) إلى نشأة نظام جبال الهيمالايا. وكذلك اصطدام اللوح الايرانى باللوح الطورونى إلى نشأة جبال كابيت داغ، واصطدام اللوح الايرانى بلوح شبه الجزيرة العربية إلى ظهور جبال زاجروس. كما التحم اللوح السيبيرى بلوح الرصيف الروسى نتيجة اصطدام حافتى اللوحين وظهرت جبال الأورال وتكون اللوح الأوراسى. ويلاحظ أنه أثناء التحام القشرتان القاريتان تتكسر وتلتوى حافاتهما المصطدمتان ويصاحب ذلك نشاط زلزالى وبركانى عنيف (شكل ٦١).

٣- الألواح المتماسة (الاحتكاكية): حيث تتحرك الألواح المتجاورة بمحاذاة بعضها البعض فى اتجاهين متعاكسين عبر الصدوع والفوالق حركة أفقية احتكاكية. مثل منطقة صدع سان اندرياس الممتد فى غرب الولايات المتحدة مئات الكيلو مترات والمشهور بزلازله المدمرة حيث تحركت على طول امتداده لوح المحيط الهادى (قشرة محيطية) ولوح أمريكا الشمالية (قشرة قارية) حركة أفقية احتكاكية. وتحرك اللوح الأول باتجاه شمال غرب أبعد من اللوح الثانى. وإذا ما استمرت هذه الحركة فإن جزء من غرب كاليفورنيا بما فى ذلك شبه جزيرة باجا Baja سوف ينفصل ويصبح جزيرة تقف أمام الساحل الغربى للقارة وقد تأخذ فى التباعد التدريجى (شكل ٦٢).

مصدر حركة الألواح التكتونية: يلاحظ أن الألواح تتحرك حركة أفقية فى مناطق التباعد والانتشار، أما فى مناطق الالتقاء والاصطدام فتكون الحركة عنيفة وفى الاتجاه الرأسى أيضاً. وقد أرجع بعض الدارسين أسباب تلك التحركات إلى تولد طاقة حركية زوبعية هائلة فى مواد الوشاح العلوى اللدنة، وذلك بتأثير من الطاقة الحرارية العظيمة التى تنطلق من تحلل العناصر المشعة ومن التفاعلات الكيميائية العنيفة. ويؤدى ذلك إلى حدوث عملية فرز لمواد الوشاح حسب كثافتها أو وزنها النوعى فتندفع المواد الأخف صاعدة إلى أعلى،







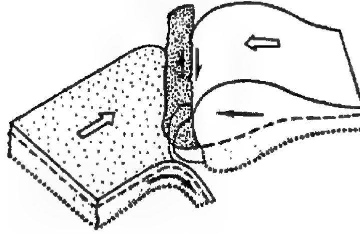
شكل (٦١)

نماذج التقاء الألواح المتقاربة

أ- قشرة محيطية بقشرة قارية

ب- قشرة محيطية بقشرة محيطية

جـ- قشرة قارية بقشرة قرية



شكل (٦٢)

نموذج الألواح المتماسة (الاحتكاكية)

الحركة في اتجاهين متعاكسين وتجمع الرواسب وانزلاقها على طول خط التقابل المائل

وعندما تصل إلى القشرة الصخرية الصلبة التى تعلوها لا تتجاوب تلك الأخيرة معها فتتعرض للتكسير والحركة. وعلى هذا فإن مصدر حركة الألواح هو طبقة الوشاح (شكل ٦٣).

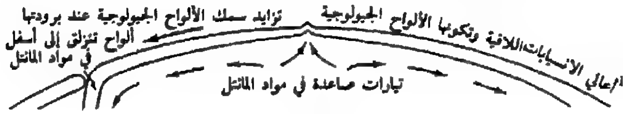


شكل (٦٣)

الطاقة الحركية الزوبعية المتولدة في الجزء العلوي من الوشاح العلوي المسئولة عن تكسير القشرة الصخرية الصلبة إلي الواح وتحريك تلك الألواح

وتفترض النظريات الحديثة أن الألواح التكتونية هى الأسطح العليا لحركات التيارات الساخنة الصاعدة فى الوشاح. وعندما ترتفع مواد الأثينوسفير إلى أعلى عند مناطق السلاسل المحيطية فإنها تتعرض للبرودة والتماسك والتشتت والتباعد. وبالابتعاد عن تلك السلاسل تصبح أكثر برودة وأعظم سمكاً وأعلى كثافة، ومن ثم تصبح تلك المواد فى حالة عدم استقرار. وعندما يتعرض طرفا اللوح التكتونى أو أحدهما إلى التكسر والانزلاق إلى أسفل والانغماس فى مواد

الوشاح فإنه ينتج عن ذلك قوة تشد وتسحب ينجم عنها نشأة حركة ميكانيكية إضافية تساعد فى تحريك الألواح (شكل ٦٤).



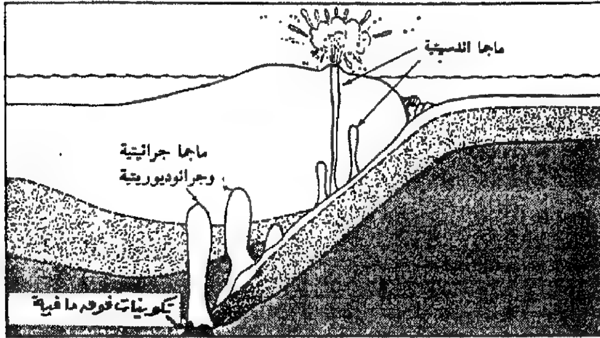
شكل (٦٤)

التكسر والانزلاق إلى أسفل والانغماس في مواد الوشاح يولد قوة شد وسحب ينشأ عنها حركة ميكانيكية تساعد في تحريك الألواح

نظرية الألواح التكتونية ونشأة القارات ونموها :

هناك رأيان مختلفان حول نشأة القشرة القارية، الأول يرى أن القشرة القارية قد تكونت كيميائياً عند بداية نشأة الأرض ثم تعرضت بصورة مستمرة لتأثير القوى الباطنية، والثانى يرى أن القشرة القارية قد تكونت بصورة مستمرة ومتواصلة عند حواف الألواح التكتونية المتقاربة. وقد أكدت الأدلة العلمية التى اعتمدت على نتائج تحليل العناصر المشعة ونظائرها الرأى الثانى.

وترى نظرية الألواح التكتونية أنه عند انزلاق اللوح إلى أسفل وانغماسه فى مواد الوشاح يتعرض للانصهار. والمعادن التى تنصهر أولاً هى المعادن السليكية التى تتميز بكثافتها المنخفضة والتى تنصهر فى ظل درجات حرارة منخفضة نسبياً، ومن ثم فإن تلك المعادن المنصهرة تتسرب إلى أعلى وتستمر فى الصعود عبر المعادن غير المنصهرة وهى المعادن المافية وفوق المافية ذات الكثافة الأعلى، وتكوّن كتل من اللافا خفيفة الكثافة تنحشر بين الألواح التكتونية المتراكبة. أما المعادن التى تنصهر بعد ذلك فى ظل درجات حرارة أعلى فإنها تتسرب أيضاً إلى أعلى وتكوّن كتل من اللافا المافية وفوق المافية أسفل اللافا السيليكية. ووفقاً لهذه العملية فإن القارات (القشرة القارية) تتكون فوق أعالى مناطق انزلاق الألواح التكتونية وانغماسها فى مواد الوشاح (شكل ٦٥). وإذا كانت صخور الدروع القارية تتألف من صخور الأوفيوليت الخضراء ويحيط بها نطاقات واسعة من صخور النيس التى يتداخل فيها صخور الجرانيت والجرانوديوريت، فإنه يمكن تفسير نشأة القارات على النحو التالى :



شكل (٦٥)

تكون القشرة القارية فوق أعالي مناطق انزلاق الألواح وانغماسها في مواد الوشاح بفعل تباين الانصهار الجزئي

١- يتكون قوس جزرى عند منطقة انزلاق الألواح عند هوامش الدروع القديمة وتندفع الماجما الثيوليتية عبر الشقوق فى أرضية الأحواض البحرية الهامشية المحصورة بين القوس الجزرى ومقدمة الدرع القارى فى حين تنبثق اللافا الانديسيتية السيليكية من البراكين التى كونت القوس الجزرى.

٢- تتجمع فوق أرضية الحوض البحرى الهامشى الرواسب المجروفة من الدرع وفرشات اللافا.

٣- تتعرض الرواب والفرشات اللافية لحركات واضطرابات تكتونية فتلتوى وترتفع تحت تأثير اندفاع الماجما الجرانيتية والجرانوديورايتية خلالها وتلتصق هى والقوس الجزرى بصخور الدرع المجاور.

٤- يواصل اللوح المحيطى الانزلاق إلى أسفل تحت اللوح القارى فيتكون قوس جزرى جديد وحوض بحرى هامشى جديد يتجمع فوق أرضيته رواسب وفرشات لافية.

٥- تنضغط الرواسب تحت تأثير الاضطرابات التكتونية واندفاعات الماجما وتلتصق باليابس.

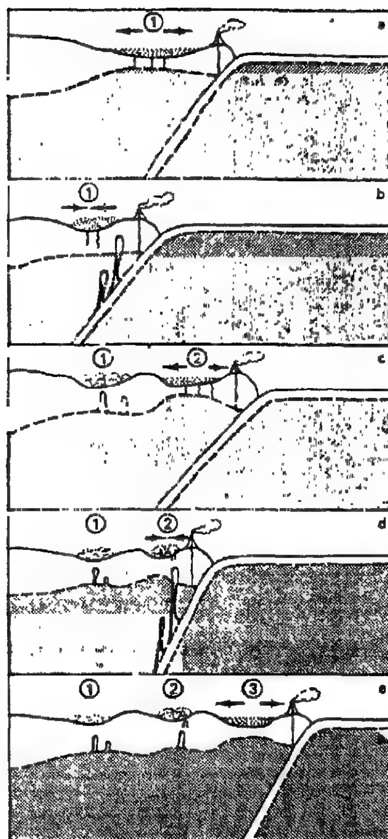
٦- يتكون قوس جزرى ثالث وحوض بحرى هامشى ثالث وتعاود الدورة من جديد (شكل ٦٦).

وهكذا فإن نمو القارات عبارة عن عملية متواصلة، فقد تكونت الدروع أولاً ثم أضيفت إلى هوامشها سلاسل جبلية بفعل الانضغاط خلال فترات متتابعة. وينجم عن تكرار هذه العملية النمو المتعاقب للقارات. ويحدث ذلك نتيجة لتتابع حدوث فترات للارساب وأخرى للبناء التكتونى (شكل ٦٧).

الكتل القارية القديمة

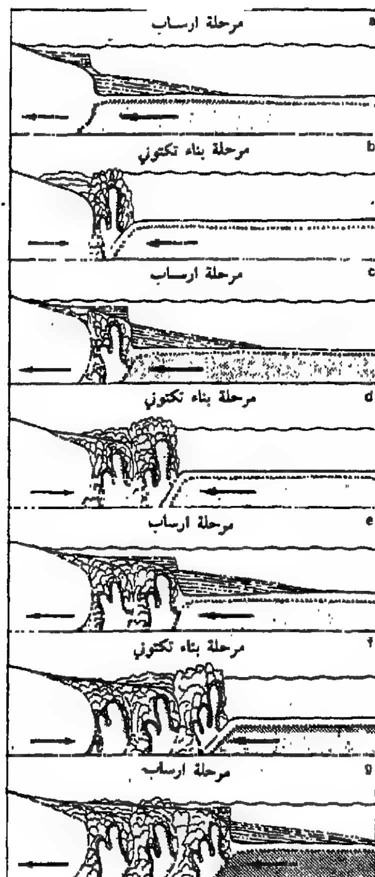
منذ حوالى ٣٠٠٠ مليون سنة كانت عدة جزر متوسطة الحجم تبرز فوق سطح الماء الذى كان يغمر الأرض، وكانت تبدو صغيرة الحجم بالقياس إلى مساحات المياه التى تحيط بها. وعند استعراض التاريخ الجيولوجى للأرض بصورة عامة والتغاضى عن التفصيلات يلاحظ أن هذه الجزر المتوسطة الحجم البالغة القدم كانت تمثل نويات قديمة بقيت ثابتة أثناء فترات جيولوجية طويلة. ويحيط بها نطاقات تميزت بالحركة وعدم الثبات إذ كانت مسرحاً لتراكم كميات عظيمة من الرواسب التى التوت وبرزت فيما بعد مكونة السلاسل الجبلية العظيمة التى اتصلت بدورها بالنويات المجاورة حتى تكونت القارات كما تعرف الآن. وهكذا طغى اليابس على الماء وان كانت نسبة الماء إلى اليابس مازالت تشغل ٧٠,٨ ٪. وكانت تلك الفكرة الرئيسية فى نمو القارات قد تقدم بها لوجان عام ١٨٤٣.

إلا أن الدراسات التفصيلية على هذه النويات لم تستكمل إلا بعد استخدام المناهج والأساليب العلمية الحديثة من صور جوية ومرئيات فضائية لمساحات واسعة وطرق كيميائية لتحليل الصخور والمعادن ووسائل تحديد عمر الصخور بواسطة النشائر المشعة وغيرها. وقد قام توزو ولسون بدراسة الآلاف من الصور الجوية للدرع الكندى، ولاحظ أنه فى منطقتين من الدرع احداهما حول بحيرة سوبيريور والأخرى بالقرب من بحيرة سليف الكبرى كانت جميع الأدلة تشير إلى أن صخور الدرع الكندى القديمة كانت فى الأصل حمماً بركانية تتألف من



شكل (٦٦)

تكون الدروع القديمة عند تصادم أقواس الجزر المحيطية والاحواض البحرية الهامشية



شكل (٦٧)

تطور نمو القارات تبعاً لإضافة السلاسل الجبلية الهامشية

صخور خضراء تعرف بالأوفيوليت، وأن هذه الحمم قد تشوهت فى وقت تكوينها ولكنها بقيت كذلك دون أن يطرأ عليها أى تغيير. وترتكز على هذه الحمم القديمة فى بعض الأماكن صخور رسوبية قديمة لم تتأثر قط بالحرارة أو بعمليات التحول أثناء فترات تكوين الجبال. ويحيط بهذه الصخور النارية القديمة صخور متحولة هى صخور النيس يتداخل فيها كتل من الجرانيت والجرانوديوريت. ويفصل الصخور القديمة عن النيس شقوق ضخمة مملوءة بترسبات ركاز من النحاس والرصاص والقصدير. وتكوّن الصخور النارية القديمة والمتحولة (النيس) الدرع الكندى الذى يمثل النواة التى نمت حولها القارة الأمريكية الشمالية.

وقد استطاع ولسون تقدير عمر هذه الصخور القديمة بطريقة النظائر المشعة بـ ٢٥٠٠ مليون سنة أما الصخور البللورية الأخرى والمتحولة والتى يتكون منها باقى الدرع فكانت أحدث عمراً ولكنها تتدرج فى الحداثة بالابتعاد نحو الخارج عن الصخور النارية القديمة فيبلغ عمر القريبة منها ١٥٠٠ مليون سنة، وتلك التى تبعد عنها عمرها ١٠٠٠ مليون، أما ا لصخور التى تبعد أكثر من ذلك وتقع عند حافة الدرع فلا يزيد عمرها عن ٥٠٠ مليون سنة، أى أنها أشبه بحلقات كل حلقة تتكون بعد الأخرى. وكانت النتيجة التى أقرها ولسون أن قارة أمريكا الشمالية نمت نحو الخارج من نواة مستقرة لم يطرأ عليها تغيرات لمدة طويلة، وأن هذه النواة الداخلية المتكونة من الحمم القديمة لم تتعرض لتغيرات كبيرة خلال العصور الجيولوجية بينما تشير الدلائل إلى أن الصخور الخارجية التى تكون حدود الدرع قد تعرضت للتقلبات والاضطرابات العنيفة التى تصحب عمليات تكوين الجبال.

وقد قام ولسون بدراسة الدرع الاسترالى ودرع أفريقيا ودرع البرازيل وقارن بينها وبين الدرع الكندى ولاحظ فى كل درع (نواة) وجود منطقة فى مركزها تتكون من حمم نارية قديمة تحيط بها انكسارات وشقوق غنية بركاز القصدير والنحاس والرصاص ثم حلقات من الصخور المتحولة القديمة والصخور الرسوبية الأخرى التى تتدرج فى الحداثة كلما اتجهنا نحو الأطراف. وقد توصل بأبحاثه الدقيقة هذه إلى أن لكل قارة نواتها ودرعها وأن جميع الدروع مكوّنة من نفس النوع الصخرى ولها نفس العمر.

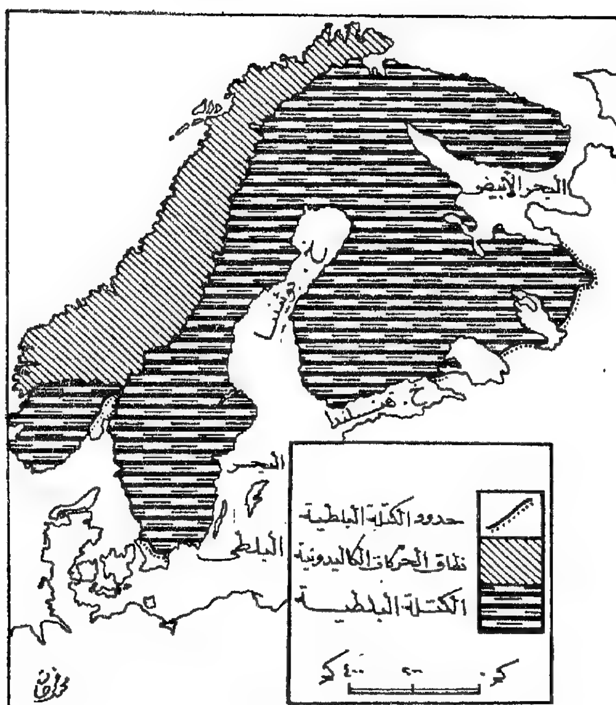
الكتل القارية (الدروع) القديمة في القارات المختلفة

أولاً: قارة أوربا :

١- كتلة فينو - سكانديا:

أطلق رامزى هذا الاسم عام ١٨٩٨ على المنطقة التى تشمل شبه جزيرة اسكنديناوه وفنلندا وشبه جزيرة كولا وكاريليا الشرقية. وقد أمكنه تقسيم هذه المنطقة تكتونياً إلى قسمين رئيسيين الأول يشمل النطاق الجبلى الغربى وقد نشأ أثناء الحركة الكاليدونية والثانى ويشمل الكتلة البلطية. والكتلة البلطية تمثل هى وكتلة الرصيف الروسى النواة التى نمت حولها بالتدريج قارة اوربا. وهى كتلة ثابتة قديمة لم يغمرها البحر طوال العصور الجيولوجية الا فترات صغيرة ولذا فإن الصخور الاركية القديمة تظهر واضحة على مساحات كبيرة من سطح الأرض ويغطيها هنا وهناك صخور رملية ذات أصلى قارى كما تغطى بعض أجزائها صخور بركانية طفحية. وقد تعرضت هذه الكتلة لعوامل التعريه فتحولت إلى سهل تحاتى خلال الفترة الأولى من الزمن الأول. ثم طغت عليها مياه البحر فى العصور المتأخرة من الزمن الأول وأرسب فوقها بعض الارسابات الجيرية البحرية التى أتت عليها عوامل التعرية ولم يبق منها إلا آثار فى الأحواض المنخفضة المنعزلة، ومنذ ذلك الوقت لم تغمرها مياه البحر على الاطلاق. ثم حدثت فى عصر البليستوسين الغزوات الجليدية وتراكم الجليد بسمك عظيم عليها ونتيجة لضغطه الشديد فقد هبطت الأرض تحته إلى أسفل وعندما انزاح غمر البحر الأجزاء الأكثر انخفاضاً مكوناً البحر البلطى والشواهد تدل على أن حركة الرفع فى قاع البحر البلطى بعد تراجع الجليد ما زالت مستمرة حتى الآن وأن البحر البلطى آخذاً فى الانكماش.

وتتحدد الكتلة البلطية من الشرق بخط يبدأ من البحر الأبيض ويمر ببحيرتى أونيجا ولادوجا حتى خليج فنلندا. ومن الشمال المحيط القطبى الشمالى. ومن الغرب الجبال الالتوائية الكاليدونية الاسكنديناوية. ولكن بعض الدراسين يرون أن قاع بحر الشمال والجزء الشرقى من الجزيرة البريطانية جزءاً من الكتلة البلطية وأن جبال اسكتلنده ما هى إلا امتداد لجبال اسكنديناوه ولذلك فإن الحد الغربى يتزحزح ليضم هذه الجهات. ومن الجنوب يمكن اعتبار البحر البلطى حداً لها فى هذا الاتجاه (شكل ٦٨).



شكل (٦٨)

كتلة فينو - سكانديا

٢- كتلة الرصيف الروسي :

تمتد هذه الكتلة إلى الشرق من الكتلة البلطية وتنتشر فوق ما يقرب من ٢٥° عرضية. وتتألف القاعدة من صخور نارية ومتحولة قديمة لم يصبها الاضطراب منذ ما قبل الكمبرى. ويعلو هذه الصخور طبقات أفقية من رواسب قارية وشبه قارية وقد تراكمت كلها اما على سطح الأرض أو فى بحار داخلية كانت تنشأ نتيجة لطغيان مياه البحر على مناطقها المنخفضة وهذه الارسابات ترجع إلى الزمنين الأول والثانى ولكن عوامل التعرية قد قضت على بعض منها وظهرت على سطح الأرض الصخور الاركية القديمة ولكن فى بقاع محدودة جداً. ولذلك فإن سطح هذه الكتلة يبدو متموجاً فى تموجات واسعة. ويبدو أن القسم الجنوبى من كتلة الرصيف الروسى قد تأثر بعمليات انكسارية فى عصور حديثة نسبياً ترتب عليها هبوط قسمه الذى يقع إلى الشمال من بحر قزوين بينما ارتفع قسمه الذى يقع إلى الشمال من البحر الأسود. وقد أدت حركة الرفع هذه إلى تجديد شباب الأنهار التى تصب فى البحر وهى أنهار الدن والدنيبر والدونتز وعمقت مجراها وكشفت عن ثروة معدنية عظيمة كالحديد والفحم والمنجنيز.

يحد كتلة الرصيف الروسى من الشمال المحيط القطبى الشمالى. ومن الشمال الشرقى جبال تيمان التى تمتد من خليج تشيشا إلى جبال اورال. وتنتمى جبال تيمان إلى حركة الالتواء الكاليدونى. ويحده من الشرق جبال اورال وهى تابعة لحركة الالتواء الهرسينى ومن الجنوب الشرقى جبال اوست يورت التى تعتبر مكملة للجبال الأورالية وهى تمتد بين بحر قزوين وبحر آرال. ويحده من الجنوب سلاسل جبال القوقاز والبلقان والكربات وجميعها تنتمى إلى الحركة الألبية الحديثة، ويحده من الغرب البحر البلطى. أما المسافة بين البحر البلطى وجبال الكربات فالخط الفاصل غير واضح لأن الارسابات على هذه الكتلة وعلى السهل الألمانى متشابهة. ولكن الجسات العميقة بينت أن ا لسهل الألمانى مرتكز على جذور جبال هرسينية قديمة أتت على قممها عوامل التعرية. وبناء على ذلك يكون الرصيف الروسى مستقل تماماً فى بنائه عن السهل الألمانى.

ومجاورة كتلة الرصيف الروسى إلى كتلة فينو – سكانديا – وتشابه الكتلتين فى البناء جعل الدارسون يعتقدون أنهما كتلة أركية واحدة بحيث تظهر التكوينات الأركية القديمة فى جزء منها هى منطقة فينو – سكانديا وتختفى فى

الجزء الآخر تحت طبقات رسوبية وهذا الجزء هو الذى تتألف منه كتلة الرصيف الروسى (شكل ٦٩).

وإذا اعتبرنا الكتلتين كتلة واحدة نلاحظ أنها محاطة بدائرة من الالتواءات بعضها ناتج عن الحركة الكاليدونية مثل جبال تيمان واسكنديناوه والبعض الآخر من التواءات هرسينية كما هو الحال فى جبال اورال وأوست يورت وجذور الجبال التى يرتكز عليها السهل الألمانى والثالث من التواءات البية وهى جبال القوقاز والبلقان والكربات.

وجميع هذه التواءات قد تكونت إلى جانب الكتلة القديمة فى عصور مختلفة وكل منها تسبب فى زيادة رقعة الأرض اليابسة. ولهذا يمكن القول أن الكتلة البلطية مع كتلة الرصيف الروسى كانت النواة القديمة التى نمت حولها القارة الاوربية (شكل ٧٠).

ثانياً: قارة آسيا :

١- كتلة سيبريا (انجارا) :

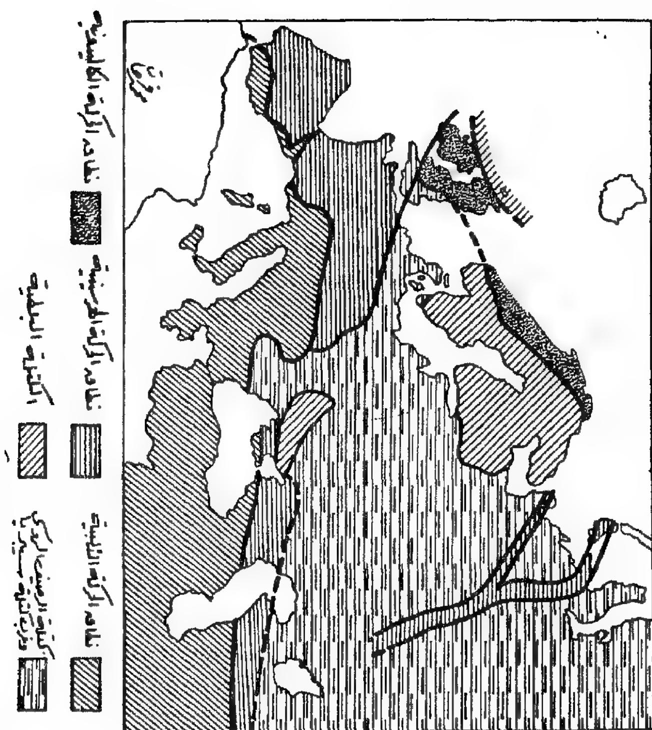
إلى الشرق من جبال أورال الهرسينية النشأة تمتد المنطقة المعروفة جغرافياً بشمال آسيا وهى المنطقة التى تنصرف مياهها نحو المحيط القطبى الشمالى والتى تتميز بمناخ قارى متطرف وتمتد حتى المحيط الهادى شرقاً. وهذه المنطقة هى المعروفة باسم كتلة سيبريا أو أنجارا. ويستدل من المعلومات القليلة أنها شبيهة بالكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسي فى أن القاعدة التى ترتكز عليها من صخور أركية قديمة نارية متحولة تعلوها تكوينات رسوبية من الأزمنة الأول والثالث والرابع. وهذه التكوينات الرسوبية تمتد على شكل طبقات أفقية وهى من النوع الذى يترسب فى البحار الداخلية الضحلة التى تطغى مياهها على كتل القارات.

ويحد الكتلة السيبيرية من الغرب جبال أورال ومن الشمال جبال بيرانجا التى تمتد فى شبه جزيرة تايمير وهى من النوع الكاليدونى ويحدها من الشرق جبال فرخويانسك وهى البية النشأة ويحدها من الجنوب مجموعة الجبال التى تمتد فى وسط آسيا إلى الجنوب من بحيرة بايكال.



شكل (٦٩)

محاولة لإعادة البناء لأوربا وجرينلند وأمريكا الشمالية خلال الزمن الأول



شكل (٧٠)

الوحدات التكتونية لقارة أوربا

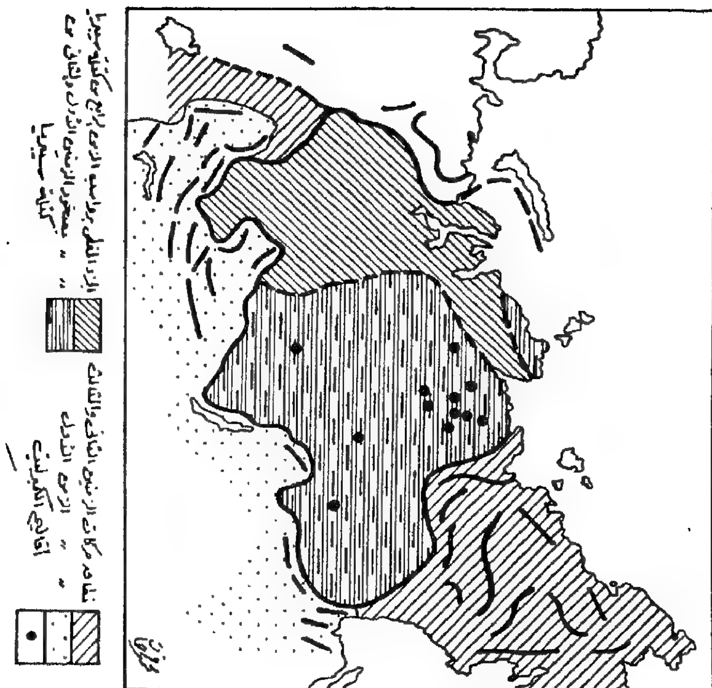
ويقسم كوير هذه الكتلة إلى قسمين شرقى وغربى يفصلهما نهر ينسى. ويميز القسم الغربى أنه منخفض وأن الصخور الاركية التى يتكون منها تختفى تحت ارسابات حديثة من الزمن الرابع وهى من النوع القارى. أما القسم الشرقى فإنه أكثر ارتفاعاً وأن التكوينات الاركية القديمة تظهر فى أغلب أجزائه على السطح، وأحياناً تغطى بارسابات من الزمن الأول على شكل طبقات افقية. وتمتاز ارسابات الكمبرى بسمكها الكبير فى حين أن ارسابات السيلورى رقيقة. كما يمتاز الجزء الشرقى بكثرة الانكسارات فتوجد مجموعة انكسارات كبيرة فى منطقتى اناريار وبحيرة بايكال التى تظهر على شكل مدرج اخدودى يحده من الغرب جبال سايان ومن الشرق جبال بايكال.

وعند النظر إلى كتلة سيبيريا بقسميها الشرقى والغربى على أنهما كتلة واحدة يتضح لنا أنها تشبه الكتلة البلطية الكبيرة فى أنها محاطة من جميع جوانبها بالتواءات من حركات مختلفة أضافت إليها أجزاء جديدة من اليابس تدريجياً (شكل ٧١).

٢- كتلة الصين:

تظهر الصخور الأركية القديمة فى كثير من أجزاء الصين وهى تدل على وجود كتلة صلبة قديمة فى هذا المكان الذى تشغله الآن. وقد سبب وقوف هذه الكتلة وعدم قابليتها لعوامل الطى والالتواء لصلابتها وقدمها أمام حركة الالتواء الألبى من أن تواصل سيرها نحو الشرق فأجبرتها عى الانحراف والتحول الى الاتجاه الجنوبى وهى الجبال التى تتكون منها مجموعة الهيمالايا.

وتمتد كتلة الصين بحيث تشغل منطقة منشوريا ومنطقة السهول الشمالية للصين ومنطقة الهضبة الجنوبية وكانت تمتد أوسع من ذلك ناحية الشرق فتشمل الجهات الشرقية مثل البحر الأصفر وبحر الصين الشمالى وبحر الصين الجنوبى. وحدود كتلة الصين هذه هى: الحد الشرقى تمثله جبال سيخوتا ألن التى تمتد فى شرق منشوريا وأقواس الجزر التى توجد على امتداد تلك الجبال حتى جزر الفلبين جنوباً. ويحدها من الغرب جبال خنجان وهضبة اوردوس وهضبة يونان. وجبال خنجان جبال انكسارية تمتد على طول انكسار كبير هبطت فيه الأرض على الجانب الشرقى وظل الجانب الغربى مرتفعاً كحائط هو



شكل (٧١)

كتلة سيبيريا

الذى يكون جبال خنجان. وهضبة أوردوس هضبة انكسارية هى الأخرى هبطت الأرض من حولها وتركتها مرتفعة. أما هضبة يونان فهى تتألف من سلاسل التوائية حديثة معقدة تمتد فى اتجاه شمالى جنوبى لوقوف كتلة الصين أمامها فحالت دون امتدادها من الغرب إلى الشرق وقلبتها إلى الاتجاه الشمالى الجنوبى.

ويقسم كتلة الصين القديمة الصلبة جبال تسن لنج شان الممتدة فى وسطها إلى قسمين كبيرين: شمالى ويشمل منطقة منشوريا وسهل الصين الشمالى. وجنوبى وتتألف منه هضبة الصين الجنوبية. وتختفى الصخور الاركية فى القسمين تحت الصخور الرسوبية القارية وتلك التى ترسبت فى البحار الضحلة. وقد تأثرت هذه الكتلة بالانكسارات لصلابتها وقد سبق أن ذكرنا أن جبال خنجان انكسارية النشأة. وهناك انكسار آخر تأثرت به المنطقة الساحلية وهبطت على طوله المنطقة التى يشغلها بحر اليابان الآن، وبقى الجانب الآخر من الانكسار واقفاً كحائط تتكون منه جبال سيخوتا ألن. وهذا الكسران المتوازيان يكونان ما يعرف بالانكسار السلمى وتمثل منطقة منغوليا الدرجة الأولى وسهول منشوريا الدرجة الثانية وقاع بحر اليابان الدرجة الثالثة والأخيرة.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة خطأ الاعتقاد بوجود كتلة ثابتة قديمة تشمل كل شمال الصين من هضبة أوردوس حتى شبه جزيرة كوريا. فقد تبين أن أجزاء كبيرة من شمال الصين قد أصابها التواء حدث فى الزمن الثانى يعرف باسم التواء نيشان وقد حدث هذا الالتواء فى دورين الأول بعد الجوراسى وصحبه انبثاقات بركانية جرانيتية والثانى بعد الكريتاسى. ويرى العلماء أن هذا الالتواء هو مقدمة للحركة الالتوائية الألبية العالمية. وعلى هذا فإن كتلة الصين تقتصر على ما يأتى :

(أ) كتلة شمال شرق الصين: وتشمل القسم الجنوبى من منشوريا والنطاق المتاخم للبحر الأصفر بما فيه اقليم شانتونج.

(ب) كتلة جنوب شرق الصين: وتمتد من اليانجتسى حتى هضبة يونان.

(جـ) هضبة أوردوس.

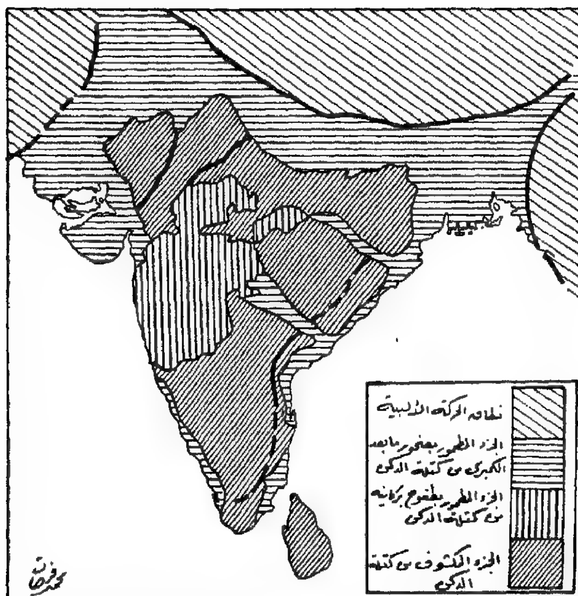
٣- كتلة هضبة الدكن :

هى شبه جزيرة تمثل قسماً منعزلاً عن قارة جندوانا أضيف إلى أساس قارة آسيا وهى على شكل مثلث يقع رأسه إلى الجنوب وقاعدته فى الشمال وتفصله سهول نهرى الكنج والسند عن جبال هيمالايا. والقاعدة التى ترتكز عليها هضبة الدكن من الصخور الاركية الصلبة القديمة وهى صخور نارية ومتحولة ويعلوها طبقة صخرية تعرف بتكوينات بورانا التى تنسب للعصر الالجونى (عصر ما قبل الكمبرى) . وهذه الصخور كلها مغطاة بارسابات من الأنواع القارية دليل على عدم وقوعها تحت سطح البحر. ولا تظهر التكوينات القديمة – الاركية والالجونية – على سطح الأرض الا فى منطقة تلال أرافالى فى اقليم راجبوتانا.

ومن التكوينات الرسوبية الهامة التى تراكمت على سطح هذه الكتلة تلك التى تعرف بتكوينات جندوانا وهى رواسب قارية وتوجد لها نظائر فى كل من افريقيا واستراليا وأمريكا الجنوبية تشبهها تماماً فى التكوينات وفى تتابع الطبقات مما يدل على أن هناك علاقة ما كانت تربط هذه الأجزاء بعضها ببعض. ويؤيد تلك العلاقة وجود آثار لعصر جليدى تأثرت به هذه الجهات جميعها.

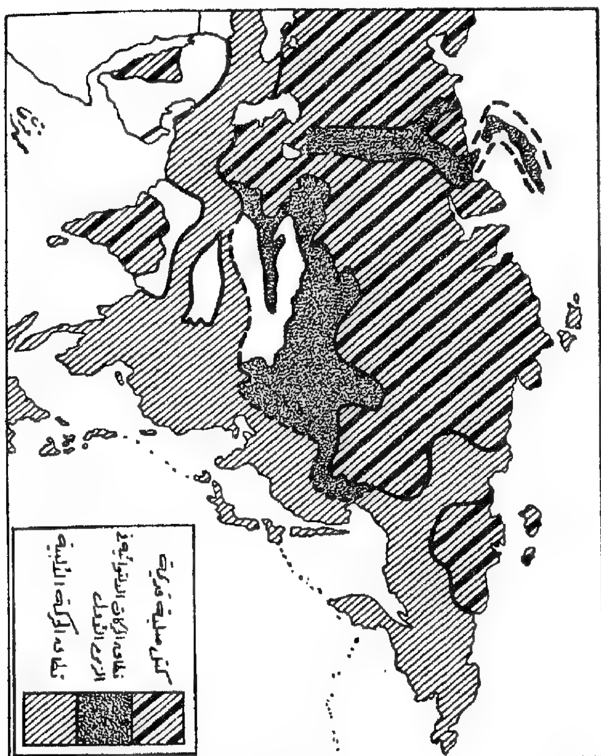
وقد تأثرت هذه الكتلة بالثورانات البركانية فى العصر الكريتاسى خرجت بسببها مقادير هائلة من اللافا البركانية غطت أجزاء بلغت مساحتها حوالى نصف مليون كيلو متر مربع. وقد خرجت هذه الطفوح على ثلاث فترات كانت تفصل بين كل منها فترة هدوء نسبى استطاعت عوامل التعرية أن تغير معالمها وتنشأ ارسابات قارية معظمها فى مياه عذبة قبل أن تأتى طبقة لافا جديدة تغطيها. وقد أصاب هضبة الدكن حركة رفع صاحبت الزحزحة التى أدت إلى تكسر كتلة جندوانا. وقد أخذت حركة الرفع هذه ميلاً نحو الشرق وانحداراً شديد نحو الغرب ولذا فإن شبكة التصريف النهرى على سطح الهضبة تتجه نحو الشرق (شكل ٧٢).

وهكذا يلاحظ أن قارة آسيا تتكون من وحدات تكتونية متباينة قديمة هى الكتل الصلبة وحديثة هى نطاقات الحركات الالتوائية (شكل ٧٣).



شكل (٧٢)

الوحدات التكتونية لشبه القارة الهندية



شكل (٧٢)

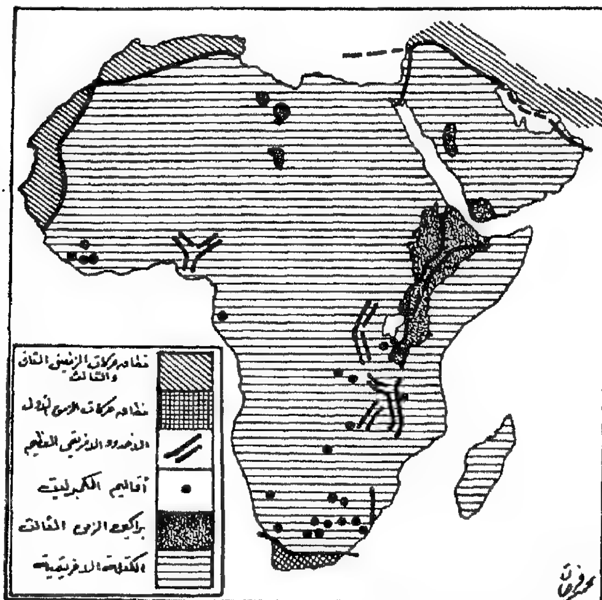
الوحدات التكتونية لقارة آسيا

ثالثاً: قارة أفريقيا :

تتركب هذه القارة من كتلة قديمة واحدة هى كتلة افريقيا. وتتركب هذه الكتلة من قاعدة اركية قديمة تتداخل فيها أجسام الباثوليت الجرانيتية الضخمة التى تبدو ظاهرة على طول الساحل الغربى من مصب نهر الاورانج حتى ساحل خليج غينيا، كما تظهر فى أجزاء فسيحة من شرقى افريقيا وفى داخل الصحراء الكبرى وجنوب السودان وفوق هذه القاعدة تستقر طبقات صخرية سميكة ضخمة تنتمى لعصر ما قبل الكمبرى (الالجونى). ويمكن تقسيم هذه الكتلة إلى أربعة أقسام حتى يسهل دراستها (شكل ٧٤).

١- كتلة جنوب افريقيا :

ترتكز على القاعدة الاركية فى هذا القسم مجموعة من الطبقات التى تنتمى إلى أوائل العصر الالجونى تتكون فى أغلبها من الكوارتزيت وترتكز فوقها طبقات من أواخر العصر الالجونى وأوائل الكمبرى وتتألف من صخور قارية رملية، وفى بعض المناطق من صخور جيرية دلوميتية تدل على الأصل البحرى، ويلى ذلك إلى أعلى طفوح بركانية. وفى أواخر السيلورى ارسبت طبقات قارية تسمى بطبقات الكاب ثم ارسابات بحرية تابعة للعصر الديفونى ثم صخور رملية تنسب إلى العصر الفحمى. ولقد عانت كل هذه الطبقات فى اقليم الكاب من حركة التوائية منتظمة امتدت من أواخر العصر الكربونى حتى العصر الترياسي وانتجت سلسلة جبلية تأخذ اتجاهاً عاماً من الشرق إلى الغرب ولكن فى طرفها الغربى تنحنى نحو الشمال الغربى ويتخذ هذا دليلاً على ارتباط سابق بينها وبين نظائرها فى أمريكا الجنوبية فى شرق البرازيل. وبسبب هذه الحركة الالتوائية نشأ حوض عظيم الاتساع إلى الشرق منها يسمى حوض الكارو. وفوق قاعه المسمى بسطح ما قبل الكارو تراكمت طبقات الكارو Karroo العظيمة السمك وتتألف من طبقات رسوبية قارية ارسبت فوق قاع الحوض المنخفض الذى كان مستمراً فى الانخفاض فى الفترة من أواخر العصر الكربونى حتى أوائل العصر الجوارسى أى فى نفس الفترة التى حدث فيها الالتواء السابق ذكره. وقد سادت عوامل التعرية عصرى الجوارسى والكريتاسى حولت المنطقة إلى سهل تحاتى يعرف باسم سهل ما بعد الكارو. هذا وتعزى التضاريس الحالية



شكل (٧٤)

الوحدات التكتونية لقارة أفريقيا

لكتلة جنوب افريقيا إلى الحركات الأرضية التى أخذت تشتد ابتداء من عصر الايوسين.

٢- كتلة شرق افريقيا والحبشة وبلاد العرب :

يبدو التتابع الطبقى أبسط مما سبق فى المنطقة الممتدة من نهر الزمبيزى إلى هضبة الحبشة إلى شبه الجزيرة العربية وإلى مشارف حوض الكونغو. إذ ترتكز فوق الصخور الاركية القديمة بقايا تكوينات تابعة للعصر الالجونى وآثار قليلة من تكوينات أوائل الزمن الأول. كما نجد هنا أيضاً طبقات الكارو ولكنها ليست بنفس السمك السابق ذكره فى كتلة جنوب افريقيا. أما النطاق الساحلى فقد تأثر بطغيان مياه المحيط الهندى فتراكمت فوقه طبقات بحرية ابتداء من العصر البرمى حتى عصر المايوسين. ولقد تأثرت أراضى الصومال والحبشة والجزيرة العربية أيضاً بالذبذبات البحرية بين طغيان وانحسار. فبعد طغيان البحر الجوراسى اعقبته حركة رفع عنيفة ثم تلى ذلك طغيان البحر فى أوائل الكريتاسى، وفوق هذه التكوينات التى ارسبت خلال الطغيان البحرى الكريتاسى ارتكزت طفوح اللافا العظيمة التى انبثقت فى أواخر العصر الكريتاسى وفى أثناء الزمن الثالث. وهذه الطفوح كانت مصاحبة لحركات انكسارية استمرت دائبة طوال الزمنين الثالث والرابع وهى المسئولة عن نشأة الاخدود الافريقى العظيم وفروعه العديدة والذى كان سبباً فى حدوث ظاهرات جغرافية هامة كالبحر الأحمر وخلجان عدن والسويس والعقبة والبحيرات الاخدودية والبحر الميت وفصل شبه الجزيرة العربية عن افريقيا.

٣- كتلة حوض الكنغو (وسط أفريقيا) :

وهى عبارة عن كتلة قديمة تعرضت لهبوط مستمر وتحيط بها الكتل القديمة الأخرى من قارة أفريقيا الأكثر منها ارتفاعاً. وفى اقليم كاتانجا ترتكز فوق ارسابات أواخر العصر الالجونى مجموعة صخرية قارية النشأة تماثل طبقات الكارو. وتملأ حوض الكنغو الأن رواسب تنتمى للزمنين الثالث والرابع وكثير منها بحيرى. وقد تأثر القسم الشرقى للحوض بالحركات الانكسارية فى شرق أفريقيا أما الحائط الغربى الذى يبدأ من أنجولا حتى الكاميرون فقد عانى من حركات رفع متكررة.

٤- كتلة شمال افريقيا (الصحراء الكبرى) :

تمتد كتلة وسط افريقيا القديمة نحو الشمال أسفل الهضبة الافريقية الشمالية الضخمة بميل عام في نفس الاتجاه وهي تمثل أساس القسم الأعظم من الصحراء الكبرى من المحيط الأطلسي غرباً حتى هضبة الحبشة شرقاً. وقد تأثرت هذه القاعدة بحركات التوائية حدثت قبل عصر الكمبرى. وتمتد الطبقات الرملية القارية التابعة للزمن الأول أفقياً وتغطي قسم كبير من الهضبة الافريقية الشمالية وقد طغى البحر الكريتاسي على هذه الكتلة وارسبت طبقات رملية وجيرية. ويبدو أن خليج غانا قد اتصل بالبحر المتوسط عبر الكتلة خلال فترة من فترات العصر الكريتاسي (فترة التوروني). وفوق الرواسب الكريتاسية ترتكز رواسب الايوسين البحرية وهي محدودة الانتشار. وتنتمي صخور الحجر الرملي النوبي في جزئها الأسفل إلى العصر الكربوني، أما القسم العلوي منها فينسب جزئياً للعصر الجوراسي ومعظمه للعصر الكريتاسي.

رابعاً: قارة استراليا (كتلة استراليا) :

تشغل كتلة استراليا القديمة هضبة استراليا الغربية والسهول الوسطى التي تمتد من خليج كربنتاريا في الشمال إلى الخليج الاسترالي العظيم في الجنوب. وتتكون هذه الكتلة من صخور اركية قديمة نارية ومتحولة شديدة الصلابة. وقد كانت تمتد هذه الكتلة في مساحة أكبر من ذلك إذ كانت تضم الجزء الجنوبي من جزيرة نيوغينيا وكذلك جزيرة تسمانيا. وهذه الكتلة تعتبر جزءاً متطرفاً من قارة جندوانا القديمة انفصلت عنها. ويميز الهضبة الاسترالية الغربية انها لم تنغمر بمياه البحر على الاطلاق طوال عصورها الجيولوجية ولذلك فهي تتغطى بصخور رسوبية قارية النشأة.

وقد تراكمت في المنطقة المحصورة بين الهضبة الغربية والسهول الوسطى رواسب تابعة للزمن الأول من الصخور الجيرية دلالة على طغيان مياه البحر على هذه المنطقة أثناء القسم الأول من الزمن الأول وخاصة العصر الكمبري. أما السهول الوسطى فقد ارسبت فوقها تكوينات الاوردوفيشي والسيلوري والديفوني. وتبلغ الرواسب القديمة هذه أوج سمكها ونموها في الشرق حيث التوت أثناء الحركة الهرسينية مكونة للنطاق الجبلي الساحلي.

وقد بدأ الزمن الثانى بسيادة الظروف القارية فتراكمت ارسابات رملية أثناء العصر الترياسى. أما فى العصر الكريتاسى فقد طغى البحر من الشمال على أجزاء فسيحة من السهول الوسطى ثم تراجع عنها وترك ورائه بحيرة عظيمة الاتساع تراكمت فيها رواسب عظيمة السمك. وفى أوائل الزمن الثالث طغى البحر مرة أخرى ولكنه أتى هذه المرة من الجنوب وغطى السهل الأدنى لحوض نهر مورى. وقد تأثرت القارة فى أواخر عصر البليوسين بحركات تكتونية صحبتها انبثاقات بركانية وغطت طفوح البازلت أجزاء من الجهات الشرقية وتأثرت الهضبة الغربية بعدة انكسارات كما تسببت هذه الحركة فى اعطاء الهضبة مظهرها التضاريسى الحالى (شكل ٧٥).

خامساً: قارة أمريكا الشمالية (الكتلة اللورنسية أو الكندية):

تؤلف الكتلة اللورنسية (الكندية) النواه التى تمت حولها قارة أمريكا الشمالية وهى تشبه الكتل الصلبة الأخرى فى أنها تتكون من صخور اركية قديمة نارية ومتحولة. ولكن يبدو أنها لم تبلغ فى صلابتها مبلغ قوة وصلابة الكتل الأخرى التى لم تتأثر بالحركات الالتوائية فقد تأثرت هى بحركات التوائية قديمة سابقة للحركة الالتوائية الكاليدونية. وأول هذه الحركات هى الحركة اللورنسية ثم تلتها الحركة الالجومية وأخيراً الحركة الكيلارنية.

ومنذ أوائل العصر الكمبرى بقيت الكتلة الكندية بارزة فوق الماء ولم تطغى عليها مياه البحر فيما عدا أجزاء محدودة جداً غزاها البحر أثناء أواخر ذلك العصر، ولذلك ينعدم وجود الرواسب ابتداء من هذا العصر حتى عصر البليستوسين. ولذلك فقد تأثرت بعوامل التعرية الأرضية طوال هذه الأزمنة وحولتها إلى سهل تحاتى.

وتشمل هذه الكتلة عدا مجموعة الجزر الواقعة فى المحيط القطبى الشمالى المنطقة القارية المحيطة بخليج هدسن ويحد هذه المنطقة خط يمتد من ساحل المحيط الشمالى بالقرب من مصب نهر ماكنزى ويمر ببحيرات الدب الكبير وجريت سليف واتابسكا وونبج والبحيرات الخمس العظمى ونهر أوتاوه ونهر سانت لورانس ابتداء من مدينة مونتريال حتى مصبه.

وينتمى إلى هذه الكتلة أيضاً منطقة السهول الوسطى فى أمريكا الشمالية لأن



شكل (٧٥)

الوحدات التكتونية لقارة استراليا

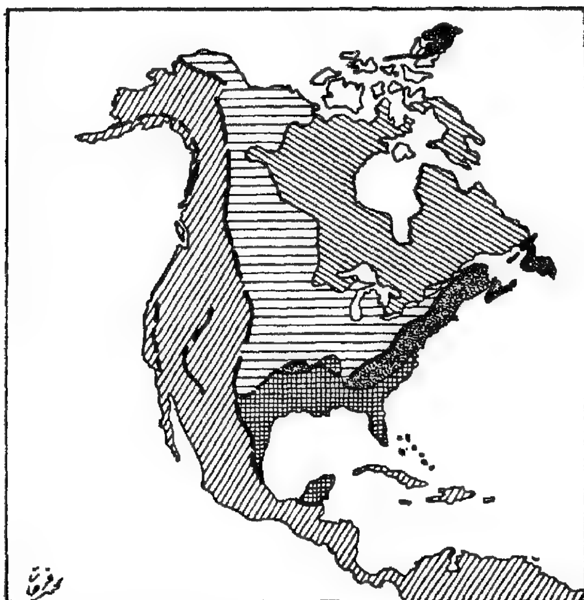
صخورها هى الأخرى اركية قديمة ولكن بدلاً من أن تظهر على سطح الأرض نجدها مغطاة بطبقات أفقيـة من رواسب الازمنة الجيولوجية الأول والثانى والثالث وفى هذه الحالة تكون منطقة السهول الوسطى هذه شبيهة بمنطقة الرصيف الروسى فى القارة الاوربية.

وقد تراكمت حول هذه النواة القديمة الممثلة فى الكتلة الكندية وكتلة السهول الوسطى كميات عظيمة من الرواسب فى البحار الجيولوجية القديمة المتاخمة لها فى الشرق والغرب وقد التوت هذه الرواسب فيما بعد مكونة للمرتفعات التى اتحدت مع الكتل مكونة لقارة أمريكا الشمالية الحالية. ولقد كانت الحركات الالتوائية تأتى دائماً من الخارج ناحية النواه ولذلك نرى امتداد المرتفعات يتجه دائماً من الشمال إلى الجنوب كما هو ملاحظ فى مرتفعات الابلاش الهرسينية فى الشرق ومرتفعات الكورد يلليرا الألبية وفى الغرب (شكل ٧٦).

سادساً: قارة أمريكا الجنوبية:

١- كتلة البرازيل وجيانا:

تتكون هذه الكتلة من صخور أركية نارية ومتحولة قديمة مثلها مثل بقية الكتل الصلبة الأخرى. وقد ظلت هذه الكتلة أرضاً يابسة طوال عصور جيولوجية عديدة لم يطغى عليها البحر الا جزئياً ونادراً ولهذا فقد أصابتها عوامل النحت كما تعرضت لحركات الرفع والانكسار، وتوجد بها جذور جبال الجونية تتداخل فيها صخور جرانيتية وكوارتزية. ويندر وجود رواسب تتبع العصر الكمبرى كما تنعدم وجود الرواسب الاورد وفيشية والسيلورية، ولكن منذ أواخر العصر السيلورى طغى البحر على الجزء الواقع بين كتلة البرازيل وكتلة جيانا وقد ترك ارساباته الجيرية، ولم تثبت للآن أن هذه الصخور الجيرية تنتمى إلى ذلك العصر السيلورى. وفى المنطقة الوسطى من هذه الكتلة والتى يشغلها الآن حوض الامزون تغطى الرواسب النهرية مساحات كبيرة، وهذه الارسابات تمتد على شكل نطاقات حلقية متداخلة تبدأ بالحلقة الخارجية القديمة ثم تليها حلقة أحدث منها إلى أن تنتهى فى الوسط بأحدث التكوينات جميعاً والتى يخترقها نهر الأمزون وروافده. ويستدل من هذه الحلقات الارسابية النهرية أن هذا الحوض المنخفض قد غمرته المياه وتراكمت على قاعه التكوينات الرسوبية



نطاق الحركة الألبية
جنوب جبال الأبلاش
نطاق الحركة الأبلاشية
الجزء المطمور من الكتلة الكندية
الجزء المكشوف من الكتلة الكندية

شكل (٣٦)

الوحدات التكتونية لقارة أمريكا الشمالية

فوق الصخور النارية وكونت طبقات افقية وكانت المساحة المائية تنكمش تدريجياً وتترك ورائها الارسابات على شكل حلقات فتكون القديمة عند الأطراف وهى التى انحسرت عنها الماء أولاً والحديثة جداً فى الوسط حيث أنها ارسبت فى الدور الأخير قبل تمام اطماء هذه البحيرة الداخلية الواسعة.

وتقع بين كتلة البرازيل جيانا وجبال الانديز الألبية أحواض قديمة تمثل حواف لهذه الكتلة تجرى عليها الآن أنهار أورينوكو والمنابع العليا للأمزون وبارانا وباراجواى. وتتصل هذه الأحواض بعضها ببعض عن طريق شريط من الأراضى المنخفضة تمتد على السفوح الشرقية للسلاسل الجبلية الغربية.

ويلاحظ أيضاً أن التكوينات التى تشغل حوض الأمزون تتاخمها عند أطرافها تكوينات أقدم منها، فإلى الجنوب منها فى الاقليم الواسع الذى يمتد بين ما توجروسو والمنطقة الساحلية توجد تكوينات كريتاسية وإلى جانبها تكوينات تابعة للعصرين الفحمى ثم الديفونى وأخيراً تكوينات ماتوجرسو النارية القديمة التى تتألف منها كتلة البرازيل. وإلى الشمال من رواسب الأمزون فى الاقليم الذى يجاور ميناؤس والاقليم الممتد جنوب بارا توجد تكوينات سيلورية، ومن خلفها تلال جيانا النارية القديمة.

وتحيط بكتلة البرازيل – جيانا مناطق التوائية مختلفة اتسعت على حسابها القارة، فإلى الغرب تمتد سلاسل الانديز الالبية، وإلى الشمال تمتد هذه السلاسل بعد أن تنحرف نحو الشرق ويصل امتدادها حتى جزيرة ترينداد. وإلى الشرق توجد بقايا التواءات كاليدونية فى الأجزاء الشرقية من هضبة البرازيل. أما إلى الجنوب فتوجد التواءات بعضها كاليدونى يشبه تلك التى توجد شرق البرازيل ولذلك أطلق عليها اسم الالتواءات البرازيليدية، وبعضها الآخر هرسينى تدخل فى تكوينه مجموعة الرواسب التى تمتاز بها قارة جندوانا القديمة ولهذا أطلق عليها اسم الالتواءات الجندوانيدية. وهذه الالتواءات تشتمل على بقايا نباتية من حفريات الجلوسوبتريس وآثار جليدية متمثلة فى صخور التلليت مما يدل على أن هناك صلة ما تربط هذه الكتلة بباقى القارات الجنوبية: افريقيا – الهند – استراليا.

٢- كتلة بتاجونيا :

إلى الجنوب من الالتواءات البرازيليدية والجندوانيدية توجد كتلة بتاجونيا ويبدو أن هذه الكتلة قريبة الشبه بكتلة انتاركتيكا. ويربط هذه الكتلة بكتلة البرازيل جيانا التواءات قديمة ترجع إلى العصر الكريتاسى تعرف باسم الالتواءات البتاجونيدية وهذه تمتد إلى الشرق من جبال الانديز وملتصقة بها. وكذلك يربطها بكتلة البرازيل – جيانا امتداد سلسلة الأحواض والأراضى المنخفضة التى تمتد على التخوم الشرقية للمرتفعات الغربية.

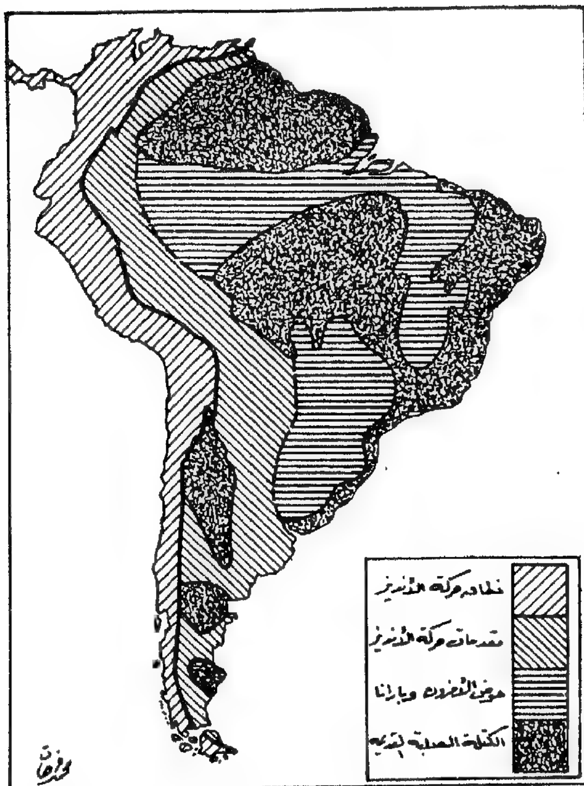
وقد نمت كتلة بتاجونيا تجاه الغرب بواسطة القوس الجنوبى لسلسلة جبال الانديز الألبية والتى تتميز هنا بأنها سلسلة فردية وليست مزدوجة كما هى الحال عند الجانب الغربى لكتلة البرازيل – جيانا (شكل ٧٧).

سابعاً: القارة القطبية الجنوبية (كتلة انتاركتيكا) :

تمكن مورى منذ نحو تسعين عاماً – بناء على المشاهدات والأبحاث – من الاستدلال على وجود كتلة أرضية متصلة الأجزاء تتكون منها القارة القطبية الجنوبية وقدر مساحتها بنحو ١٠ مليون كيلو متر مربع. ولقد أثبتت الأبحاث التى قامت بها الرحلات العلمية صحة تقديرات مورى الا أنها رفعت المساحة إلى ١٤ مليون كيلو متر مربع. ويغطى هذه القارة طبقة ضخمة سميكة جداً من الجليد، هذا ولا تزال معلوماتنا عنها قليلة.

ويمكن تقسيم القارة إلى قسمين متميزين: أحدهما يقع إلى الشرق من خليجى روس وويديل ويعتبر هذا القسم جزءاً من قارة جندوانا القديمة إذ يتكون من الصخور الاركية القديمة ومن ثم يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالكتل القديمة فى استراليا وافريقيا وأمريكا الجنوبية. وتعلو التكوينات الاركية صخور جيرية تنسب للعصر الكمبرى تتداخل معها صخور طفحية تابعة للفترة ما بين الكمبرى والفحمى. ويغطى ذلك طبقات سميكة من الحجر الرملى تنسب مستوياتها السفلى إلى العصر الفحمى لوجود حفريات نبات جلوسبتريس، والأجزاء العليا إلى العصر البرمى وربما إلى أوائل الترياسى ثم ينتهى التتابع الطبقى بتكوينات تشبه طبقات الكارو بأفريقيا وطبقات الهند وتسمانيا. وقد تعرض هذا القسم إلى انكسارات تظهر بوضوح على سواحل بحر روس .

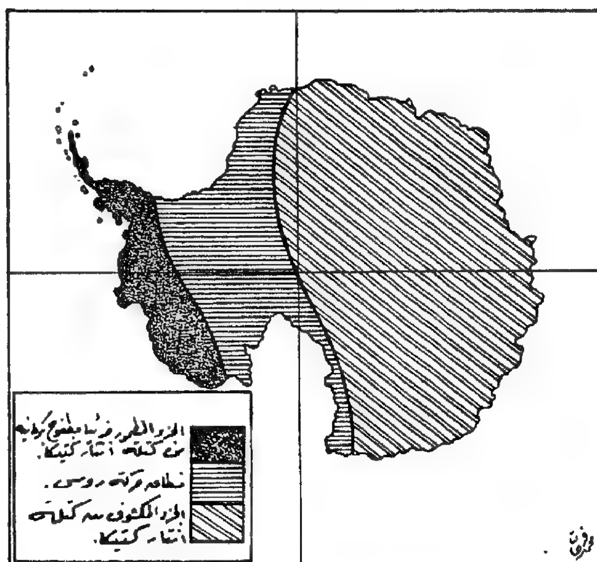
ويختلف القسم الغربى من كتلة انتاركتيكا اختلافاً كبيراً عن القسم الشرقى وقد أمكن معرفته من الدراسات التى تمت فى شبه جزيرة جراهام لاند. وقد



شكل (٧٧)

الوحدات التكتونية لقارة أمريكا الجنوبية

تبين أن تركيبه الجيولوجي يشبه تماماً تركيب كتلة بتاجونيا وجبال الانديز المتاخمة لها. ويعتقد أن هناك وصلة قديمة بين الكتلتين عبر جزر سوث أوركنيز وسوث ساندوتش وسوث جورجيا. ويتركب الجزء الغربي من جبال جراهام لاند من صخور نارية تنسب إلى الزمن الثاني وهي تماثل نظائرها في غرب الانديز. كما نجد تكوينات رملية ولافا بازلتية وتوفا بركانية تشبه تكوينات المولاس في بتاجونيا. وهذه المرتفعات قد تكونت منذ نهاية الزمن الثاني واستمرت أثناء الزمن الثالث كما هو الحال في جبال انديز بتاجونيا. (شكل ٧٨).



شكل (٧٨)

الوحدات التكتونية لقارة انتاركتيكا

نطاقات الضعف في قشرة الأرض

(الأحواض البحرية القديمة ونظم المرتفعات)

عرضنا فيما سبق دراسة عن الكتل القارية القديمة الثابتة، ويبقى لنا أن نتناول بالدراسة تلك النطاقات من القشرة التى اتسمت بالتحرك وعدم الثبات أثناء فترات طويلة من التاريخ الجيولوجى للأرض. ويطلق على هذه النطاقات عبارة الأحواض البحرية البنائية Geosynclines وأحياناً الأحواض البحرية الهامشية. وقد ثبت بما لا يدع مجالاً للشك أن الصخور التى تتركب منها السلاسل الجبلية الالتوائية فى العالم قد ارسبت فى تلك الأحواض البحرية.

وكان «هول» J. Hall أول من تبين الصلة والارتباط الوثيق بين الأحواض البحرية القديمة والسلاسل الجبلية وأن تلك البحار القديمة تختلف اختلافاً كبيراً عن البحار والمحيطات الحالية. ولكن الفضل يرجع إلى «هوج» Haug فى تفسير نشأة ونمو هذه البحار القديمة ورسم لها خرائط تبين توزيعها فى مختلف الفترات الجيولوجية القديمة وصورّها فى نطاقات بحرية تحف بالكتل القارية أو تفصل بينها ويعتقد هوج أن هذه البحار القديمة كانت على شكل نطاقات ضيقة وعميقة من المياه تمتد طولياً لمسافات بعيدة، وكانت تفصل أثناء الزمن الثانى بين الكتل القارية الآتية :

١- كتلة شمال الأطلسى.

٢- كتلة الصين وسيبريا.

٣- كتلة افريقيا والبرازيل.

٤- كتلة استراليا والهند ومدغشقر.

٥- كتلة قارة المحيط الهادى.

وقد اضيف إلى الكتل القارية من وقت لآخر أرض يابسة جديدة عن طريق التواء ورفع الرواسب التى تراكمت على قيعان تلك الأحواض البحرية القديمة. وتوزيع «هوج» لهذه البحار بهذا الشكل لا يترك فراغاً حوضياً يتسع لمياه المحيطات. ويبدو أنه عند توزيعه لهذه البحار قد وضع فى اعتباره ما يشاهده الآن من كثرة الارساب فى مناطق الأرصفة القارية الحالية.

ويحسن أن نطلق على المسطحات البحرية التى تكونت فى مكانها السلاسل الجبلية البحار الهامشية وهى تلك التى تتاخم القارات وهى منطقة الرصيف القارى. إذ يتوافق هذا المفهوم مع ما نراه الآن من توزيع اليابس والماء. وهذه البحار الهامشية لا تكون عميقة بشكل واضح ولكنها أميل إلى الضحالة منها إلى العمق. وكانت المفتتات التى تحملها عوامل التعرية وتلقى بها فى تلك البحار تترسب على قيعانها وهى رواسب من نوع ارسابات البحار الضحلة. وكلما ازدادت كمية الرواسب وعظم سمكها وبالتالى ثقلها فإن قاع هذه البحار يهبط إلى أسفل بمقدار ما أرسب عليه، أى يظل عمق البحر ثابتاً تقريباً مهما كانت كمية الرواسب التى تنتهى إليه. والدليل على ذلك أن تكوينات الجبال الالتوائية المرتفعة الحالية تتكون من صخور ذات أصل بحرى ضحل. ويبلغ ارتفاع هذه الجبال آلاف عديدة من الأقدام، فجبال الأبلاش بأمريكا الشمالية التى تتكون من طبقات يبلغ سمكها خمسة عشر ألف قدم وجبال منطقة الهضاب بغرب هذه القارة التى يبلغ سمك طبقاتها عشرة آلاف قدم بها من الأدلة الوفيرة ما يثبت أن المياه التى ترسبت فيها كانت ضحلة للغاية منها الحفريات الخشبية وعلامات التموج وبقايا القشريات المائية العديدة التى لا تعيش الا فى المياه الضحلة. ويبدو أن كتلة الطبقات كلها هذه كانت تهبط بنفس المعدل الذى كانت تترسب به الطبقات فوق السطح. وبالاختصار يمكن وضع قاعدة عامة وهى أنه فى البحار الهامشية التى ترسبت فيها مقادير كبيرة من المادة الصخرية فإن هذا الترسب كان يصحبه انخفاض فى الكتلة كلها (نظرية توازن القشرة الأرضية).

أما عن كيفية تكوّن الجبال فإن ايفانس يرى أن الأجزاء من قاع البحر الهامش التى هبطت وتقوست إلى أسفل أكثر من غيرها بسبب ثقل الرواسب قد أصبحت فى نطاق أكثر حرارة – بسبب قربها من باطن الأرض وبسبب الضغط الهائل الواقع عليها من الارسابات التى فوقها – ومن ثم تناقصت قوتها وصلابتها. ويتسبب الهبوط الذى ينشأ عن ثقل الرواسب فى احداث تحركات فى مواد السيما أسفل الجزء من القشرة الآخذ فى الهبوط، كما يتسبب فى احداث اضطراب فى حالة التوازن الأرضى. وباشتداد الضغوط الناتجة عن تحرك السيما تلتوى تلك الطبقات الارسابية الضعيفة، ولما كانت تتكون من مواد أخف من مواد السيما فإنها تميل إلى الصعود والاندفاع ومن ثم تتكون المرتفعات. ثم

ينشأ بحر هامشى آخر بجوار المرتفعات الحديثة التى برزت وأصبحت جزءاً من اليابس تتراكم فيه الرواسب التى تجرفها عوامل التعرية من المرتفعات فتبدأ بذلك دورة مماثلة جديدة. وبذلك فإنه يمكن أن نميز بصورة عامة بين ثلاثة أدوار فى تاريخ الحوض البحرى :

الدورالأول: يتمثل فى نشوئه نتيجة للهبوط والارساب.

الدورالثاني: تنثنى بعض أجزائه.

الدورالثالث: يتمثل فى تقلصه والتوائه وظهور المرتفعات من الارسابات التى كانت تشغل قاعه.

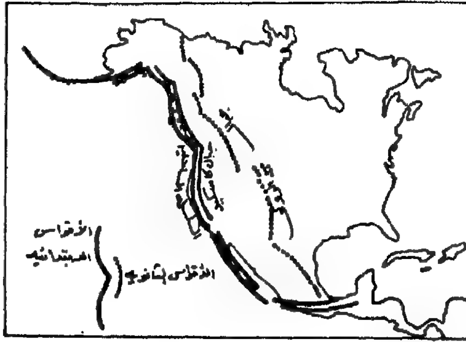
وقد وضع توزو ولسون نظرية أخرى فى نشأة الجبال تتلخص فى أنه بمجرد أن تكونت الجزر القارية الصلبة، فإن عوامل التفتت والتعرية بدأت تعمل عملها، وانجرفت الرواسب من اليابس وأرسبت فى البحار الهامشية ذات العمق المحدود المجاورة لهذه الجزر القارية. وقد أخذت قشرة الأرض تحت ثقل الرواسب فى الهبوط، ونتيجة لهذا الهبوط حدثت تصدعات، وموقع هذه التصدعات هو حافة الرصيف القارى (البحر الهامشى) المثقل بالرواسب المواجهة للبحر أو المحيط. وعلى طول هذه الكسور التى كثيراً ما تكون على شكل قوس تتصاعد الغازات وسوائل القلويات والسيليكات والحمم البركانية. وقد ساهمت هذه التدفقات فى تكون المحيطات والقارات والغلاف الغازى المحيط بالأرض. وإذا أخذت القشرة فى الهبوط تحت ثقل الرواسب، والتصدع فى شقوق منحنية فلابد أن تحدث زلازل عنيفة هزت سواحل القارات. وقد عملت هذه الهزات على خروج كميات كبيرة من اللافا البركانية كونت أقواس جزرية على طول الشقوق والتصدعات. كما عملت على انضغاط الرواسب فى قاع البحر الهامش والتوائها وارتفاعها على شكل أقواس جبلية. ومن أمثلة الأقواس الجزرية البركانية التى تكونت على طول خط التشققات المنحنى الذى كان سبباً فى نشأتها، جزر الوشيان وجزر كوريل وجزر اليابان وماريانا والفلبين، وتسمى هذه الجزر بالأقواس الجبلية الابتدائية.

وتسمى الجبال التى تكونت تجاه الشاطئ بفعل التواء الرواسب بالجبال الثانوية. وتبدو هذه الجبال الثانوية على شكل قوس أيضاً ولكنه مقعر بالنسبة

لقوس الجزر الابتدائية، ولكنه لا يواجه تماماً القوس الابتدائي بل يواجه ملتقى قوسين ابتدائيين هكذا ( ) .

ويهبط قاع البحر بالقرب من شاطئ أقواس الجزر الابتدائية المواجه للمحيط فجأة إلى هوة عميقة، أى يتكون أخدود محيطى تصل فيه المياه إلى أعمق أعماقها. وتصل الأخاديد القريبة من شواطئ جزر اليابان والفلبين ومريانا إلى أعماق تبلغ أكثر من ثلاثين ألف قدم. وكثيراً ما تكون هذه الخنادق مملوءة بكميات ضخمة من الرماد البركانى الناعم ومن مواد متفتتة جرفتها المياه من الجزر. وإذا ما تجمعت رواسب كافية لملء الخنادق العميقة التوت جذورها وارتفعت لتكون قوساً ثانياً من الجزر يوازى القوس الجزرى الابتدائى ويسمى أيضاً «ابتدائياً» وهذه الجزر التى تكون الصف الخارجى لما أصبح قوساً مزدوجاً من الجزر ينم عن أصلها صخورها التى تتكون من رواسب بركانية وحفريات حيوانات تعيش فى المياه العميقة لا الساحلية. وتعتبر جزيرة كودياك احدى هذه الجزر التى ارتفعت من أخدود جزر الوشيان، وجزيرتا ترينداد وبربادوس أيضاً تكونتا من اخدود جزر الهند الغربية. وهكذا فقد يحف بالقارة سلسلة مزدوجة من الجزر. بيد أن المواد المتفتتة من الجزر البركانية تجرف إلى المسطح المائى الذى يفصلها عن القارة، وفى الوقت نفسه تصب الأنهار التى بالقارة مياهها المحملة بالرواسب فى نفس هذا المسطح المائى أو البحر الداخلى فيرتفع قاعه طبقة فوق طبقة ثم يمتلئ كما يمتلئ الآن بحر اليابان. وبمضى الزمن يتحول ما كان قاعاً للمحيط إلى يابس وهكذا تتصل الجزر بالقارة، ويصبح للقارة حافة جديدة مكونة من صف واحد أو صفين مزدوجين من الجبال الابتدائية.

وظاهرياً قد لا تشبه جبال قوس ساحلى جزراً على مبعدة من الشاطئ على شكل قوس منحنى ولكن العين الفاحصة لا تجد صعوبة فى تمييزها. وهذا هو الحال فى جبال كورديللرا الأمريكية فهى نموذج لقوس مزدوج من الجبال الابتدائية على طول ساحل قارة أمريكا الشمالية الغربى، ويتكون قوسها الداخلى الذى يعرف باسم جبال كاسكاد وجبال سييرا من انبثاقات بركانية ويتكون قوسها الخارجى ويسمى سلسلة الجبال الساحلية من رواسب بركانية ترسبت عند أعماق مائية كبيرة (شكل ٧٩)



شكل (٧٩)

تمتد جزر وجبال «ابتدائية» على طول ساحل المحيط الهادي. وتواجهها أقواس الجبال «الثانوية» - سلسلة جبال الروكي

أما إذا كان لا يوجد إلا قوس واحد من الجزر، فلا يكون ثمة كذلك إلا قوساً واحداً من الجبال، كما يوجد بعد الساحل مباشرة خندق عميق. وتعتبر جبال الانديز الواقعة بين سانتياجو وإكوادور هي واحدة من مثل هذه السلاسل الفرديــة.

وقد تبين لتوزوولسون وعلماء الطبيعة الأرضية الذين يدرسون تصدعات الأرض التي تقع على الحافة الخارجية للبحار الهامشية المثقلة بالرواسب والتي كانت هي الطليعة في نمو القارات، أن هذه التصدعات لم تكن مجزأة تحدث على انفراد بل يبدو أنها ظاهرة مترابطة تشمل الأرض. فقد كان يحيط بالأرض منطقتان تنحصر فيهما الشقوق، الأولى تحيط بالأرض في اتجاه شرقي غربي تقريباً مخترقة البحر المتوسط ووسط آسيا وجنوبها وجزر اندونيسيا وميلانيزيا ونيوزيلندا، والثانية تدور حول الأرض من الجنوب إلى الشمال وترتد مرة أخرى. وتبتدئ من أندونيسيا وتدور في اتجاه عقرب الساعة مارة بطول الساحل الآسيوي الشرقي ثم ترتد جنوباً على طول الساحل الغربي للأمريكتيين إلى قارة انتاركتيكا. وتلتقي المنطقتان وتتقاطعان في شكل ضخم يشبه حرف T الأفرنجي. وحيث تلتقي المنطقتان توجد أشد مناطق الأرض اضطراباً جيولوجياً وهي المنطقة التي تشغلها اندونيسيا

وميلانيزيا. وعلى طول خطوط حرف T تقع جميع الزلازل العميقة كما يوجد فيها جميع البراكين، وفيها أيضاً ترتفع فى أقواس منحنية تمتد إلى مسافات بعيدة جميع جبال الأرض حديثة الالتواء. والجبال التى تترامى علي طول ذراعى حرف T هى خليط مريك من سلاسل بركانية ونارية ورسوبية. (شكل ٨٠).



شكل (٨٠)

منطقتي تصدع الأرض الكبيرة التي تحيط بها علي هيئة حرف T الأفرنجي. وفيها تقع جميع الزلازل وفيها ارتفعت كل الجبال الألبية الحديثة

وإذا كان ولسون على صواب فيما ذهب اليه فإن القارات تنمو بترتيب معين، ففى المركز ينبغى أن توجد منطقة الدرع أو النواه ثم يتلوها قوس ثانوى ثم منطقة وسطى ثم قوس ابتدائى منفرد أو مزدوج من الجبال أو الجزر ويأتى أخيراً ما يسمى بالمنطقة الأمامية، فهل هذا هو الترتيب الفعلى لقارات العالم.

المناطق الرئيسية فى قارة أمريكا الشمالية هى السهول الداخلية والدرع الكندى، وفى الغرب تعد سلاسل الروكى المرتفعة القوس الثانوى وهضاب يوكن وكولومبيا البركانية والحوض الكبير والمكسيك تكون المنطقة الوسطى، وجبال كورديللرا الكبرى الممتدة من الاسكا إلى ما بعد المكسيك تكون القوى الابتدائى المزدوج. وفيما وراء ذلك تمتد المنطقة الأمامية وهى المحيط الهادى. ويوجد بالساحل الشرقى للقارة نمط مماثل وإن لم يكن بنفس الوضوح نتيجة لقدمه.

والمنطقة الرئيسية بأمريكا الجنوبية هى الدرع الواقع بالجزء الشرقى من القارة ثم تأتى الجبال الثانوية إلتى تكاد تلتحم بجبال الانديز دون أن يكون بينهما

منطقة وسطى، وعلى طول الساحلين الشمالى والغربى تكون الجبال قوساً ابتدائياً مزدوجاً. وفى الجزء الأوسط الغربى من القارة لا يواجه المحيط - المنطقة الأمامية - الا صف واحد من الجبال.

ويقول توزو ولسون: «ان النمط يتكرر بنظام يلفت النظر، بحيث أنه لا يمكن أن يكون وليد الصدفة».

الحركات البانية للجبال وتوزيع الجبال الناشئة عنها :

حدثت فيما بعد العصر الكمبرى ثلاث حركات التوائية رئيسية هى: الحركة الكاليدونية التى حدثت فى أواخر العصر السيلورى وأوائل العصر الديفونى، والحركة الهرسينية فى العصرين الفحمى والبرمى، والحركة الألبية التى ظلت نشطة من أواخر الزمن الثانى حتى انتهاء الزمن الثالث. ولقد تأكد حدوث فترات التوائية أخرى فيما قبل العصر الكمبرى ولكن معلوماتنا عنها لا تزال ضئيلة. (شكل ٨١).

التواءات ما قبل الكمبرى: أمكن التعرف على ثلاث حركات التوائية حدثت فيما قبل العصر الكمبرى وذلك فى اقليم البحيرات العظمى فى أمريكا الشمالية. وتعرف الحركة الأولى بالحركة اللورنسية، وقد شملت مجموعة كبيرة من الرواسب وصحبتها نشاط بركانى عنيف. ولقد نحتت جبالها بمضى الزمن، ونشأ حوض بحرى تراكمت فيه الرواسب التى ضغطت والتوت أثناء الحركة التى تلتها وهى الحركة الالجومية. وقد صحب هذه الحركة أيضاً نشاط بركانى وتحول فى الصخور وتبع ذلك فترة هدوء طويلة تعرضت فيها تلك الجبال لعمليات التعرية فتحولت إلى سهل تحاتى. وفى أثناء الحركة الثالثة ، وهى الحركة الكيلارنية التوت هذه الرواسب التى تراكمت فى الحوض الجديد ورفعت مكونة للالتواءات الكيلارنية التى تعرضت بدورها لعوامل التعرية فتحولت إلى سهل تحاتى ارسبت فوقه طبقات صخرية تنتمى للعصور الأولى من الزمن الأول.

أما توزيع الجبال الكاليدونية والهرسينية والألبية فى قارات العالم فيمكن تلخيصها فى الجدول التالى :

جدول رقم (١٧)

توزيع الجبال الكاليدونية والهرسينية والألبية في قارات العالم

القارة / الحركة	آسـيا	أفريقيا	أوروبا
الكاليدونية (أواخر السيلورى وأوائل الديفونى).	جبال: بيرانجا – شمال شرق جبال سايان – الطرف الجنوبى لبحيرة بايكال – الحوض الأعلى لنهر انجارا – الحوض الأوسط لنهر لينا.	جبال جوراره – أجزاء من الصحراء الكبرى.	جبال: كاليدونيا (اسكتلندا) – اسكنديناوا – جزر هبريدا – شمال غرب ايرلندا – جزيرة سبيتزبرجن حقل الفحم البلجيكى فوجت لاند – السوديت – أجزاء من البرانس الفرنسية – تايمان.
الهيرسينية (الفحمى والبرمى).	مرتفعات: الطاى – سايان – بايكال – خنجان – حوض زنجاريا – تيان شان – فرغانة – حوض تاريم – مرتفعات الاى – تسن لنج شان – سهوب القرغيز – مرتفعات تشوجوكو فى اليابان جنوب جزيرة هنشو – أجزاء من الملايو.	سلسلة الكاب – هضبة مراكش – أطلس العليا – الأجزاء الشمالية من الصحراء الكبرى.	جنوب الجزيرة البريطانية – غرب فرنسا الجبال الانكسارية كلها تتبع هذه الحركة – هضبة المزيتا – مرتفعات بريتانى – جنوب غرب أيرلندا – حوض ويلد (انجلترا) كورنول – حوض باريس – هضبة الرين – هضبة فرنسا الوسطى – الفوج – الغابة السوداء – هضبة بوهيميا – أجزاء من السوديت – جبال الاورال وامتدادها فى جزيرة نوفايا زيمليا – مرتفعات الهارتز – منطقة الدونيتز.
الألبية (أواخر الزمن الثانى ومعظم الزمن الثالث بلغت أوجها فى الميوسين).	جبال بنطس – طوروس – سلاسل التركستان كون لن – يونان – انام – زاجروس – عمان – الهيمالايا – جزر نيكوبار – اندامان – جزر سوندا – الأقواس الجزيرية: الوشيان – كوريل اليابان – ريوكيو – الفلبين – غينيا الجديدة.	جبال أطلس وامتدادها فى جزيرة صقلية.	سيرانيفادا – البرانس – بروفانس – الألب الكربات – ترانسلفانيا – البلقان – القوقاز – الابنين – الألب الدينارية – بندس – كريت.

الحركة / القارة	استراليا	أمريكا الشمالية	أمريكا الجنوبية	انتاركتيكا
الكاليدونية (أواخر السيلورى وأوائل الديفونى) .	منطقتى نيوسوث ويلز، ومنطقة استخراج الذهب فى ناريجوندا.	جبال تاكونى. هضبة بيد مونت الجانب الشرقى من جزيرة جرينلند.	الحافة الشرقية لكتلة البرازيل. شمال وشمال غرب الارجنتين فى المنطقة المعروفة باسم سييرات البمباس وهى الالتواءات التى يعبر عنها بالبرازيليدية.	غير معروفة.
الهرسينية (الفحمى والبرمى) .	المرتفعات الشرقية – بعض جهات نيوزيلندا.	الابلاش.	المنطقة الواقعة بين بتاجونيا وسهول البمباس حيث تمتد مرتفعات سيرا تاندل – سيرا دى كورد وبا – سيرا دى فنتانا.	غير معروفة.
الألبية (أواخر الزمن الثانى ومعظم الزمن الثالث بلغت أوجها فى الميوسين) .	لا توجد بها التواءات البية.	جبال روكى – كورد يللرا – الساحلية هضاب: يوكن – كولومبيا – ايداهو –الحوض العظيم – المكسيك.	الانديز – جزر انتيل.	جبال منطقة جراهام لاند سلسلة الولايات المتحدة المستمرة فى منطقتى جرانيت لاند وجرنيل لاند.



شكل (٨١)

الوحدات التكتونية لقارات العالم

أهداء من المؤلف

دكتور
احمد احمد مصطفى

الفصل الخامس

القوى الداخلية (التكتونية) المشكلة لسطح الأرض

أولاً : الحركات الباطنية البطيئة.

١- الحركات الإيبروجينية البانية للقارات.

٢- الحركات الأوروجينية البانية للجبال.

الالتواءات :

أنواع الالتواءات.

أثر الالتواءات في تضاريس سطح الأرض.

الانكسارات :

أنواع الانكسارات

أثر الانكسارات في تشكيل سطح الأرض.

ثانياً: الحركات الباطنية الفجائية السريعة.

١- الزلازل.

تصنيف الزلازل.

شدة الزلازل.

توزيع الزلازل في العالم.

أقاليم الزلازل.

أثر الزلازل في تشكيل سطح الأرض.

٢- البراكين.

أنواع الأجسام البركانية (البراكين).

توزيع البراكين في العالم.

أثر البراكين والظاهرات التضاريسية الناجمة عنها.

٣- الينابيع والنافورات الحارة.

المداخن.

الينابيع الحارة.

النافورات الحارة.

توزيع النافورات والينابيع الحارة في العالم.

الفصل الخامس

القوى الداخلية (التكتونية)

المشكلة لسطح الأرض

تتأثر القشرة الأرضية بقوى مختلفة تعمل على تشكيلها فى مجموعة من الظاهرات التضاريسية مصدرها عوامل داخلية أو باطنية Endogenetic وتعرف بالقوى التكتونية Tectonic. وهذه القوى هى المسئولة عن نشأة الظاهرات التضاريسية الأصلية المعروفة بتضاريس المرتبة الأولى التى تشمل اليابس (القارات) والماء (الأحواض البحرية والمحيطية)، وأيضاً تضاريس المرتبة الثانية التى توجد ضمن تضاريس المرتبة الأولى وتشمل نطاقات الجبال الممتدة والهضاب الكبرى والأحواض والبحار الداخلية.

وتنقسم الحركات التكتونية التى تصيب قشرة الأرض إلى نوعين رئيسيين :

أولاً : حركات باطنية بطيئة تظهر آثارها بعد مضى فترات زمنية طويلة تقدر بعشرات ومئات الملايين من السنين.

ثانياً: حركات باطنية فجائية وسريعة تظهر آثارها على سطح الأرض بصورة سريعة وتتمثل فى الزلازل والبراكين والنافورات الحارة.

أولاً: الحركات الباطنية البطيئة

تنقسم الحركات الباطنية البطيئة إلى قسمين :

١ - حركات رأسية وتسمى بالحركات الإبيروجينية Epeirogenic Movement وتعرف بحركات بناء القارات، وتتم بصورة بطيئة وتعمل فى المستوى الرأسى وتؤدى إلى رفع وخفض القشرة الأرضية. وتتأثر بها مناطق واسعة ويترتب عليها ظهور أجزاء كبيرة من قيعان البحار وتصبح أرضاً يابسة متسعة، أو هبوط مناطق شاسعة من اليابس تحت سطح البحر وتحولها إلى مسطحات بحرية. وترجع تلك الحركات إلى حركات توازن القشرة الأرضية وإلى الإضطرابات والتغيرات التى تحدث فى مواد باطن الأرض.

٢ - حركات أفقية وتسمى بالحركات الأوروجينية Orogenic Movement وتعرف بالحركات البانية للجبال، وتتم أيضاً بصورة بطيئة وتعمل فى

المستوى الأفقى أى أنها حركات جانبية تؤدى إلى التواء وتكسر صخور القشرة الأرضية فهى حركات ضغط وشد. وهذه الحركات هى المسئولة عن تكوين السلاسل الجبلية العظمى فى العالم.

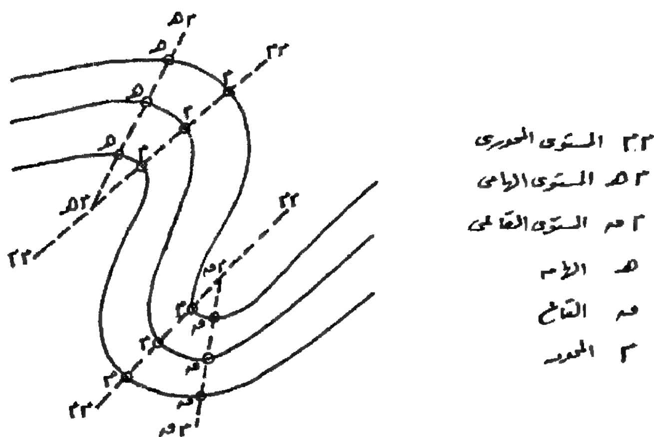
والنوعان السابقان من الحركات الباطنية البطيئة، وأن تميز كل منهما عن الآخر إلا أنهما يرتبطان ببعضهما ارتباطاً وثيقاً فالحركات الرأسية يصاحبها حركات أفقية والحركات الأفقية يصاحبها حركات رأسية.

الحركات الأوروجينية (الالتواءات والانكسارات):

تلعب الالتواءات والانكسارات دوراً كبيراً فى اعطاء سطح الأرض الظاهرات التضاريسية البارزة المميزة له - وإذا كانت الالتواءات أبلغ أثراً فى ذلك، فإن الانكسارات تظهر علاماتها واضحة فى أجزاء متفرقة من سطح الأرض. وتعرف الالتواءات والانكسارات بالتراكيب الثانوية لأنها حدثت فى زمن لاحق لزمن نشأة الصخور، بمعنى أنها لم تنشأ مصاحبة لتكون الصخر، أى أنها تكونت والصخر فى حالته الصخرية المتصلبة.

١- الالتواءات Folds:

هى عبارة عن تجعدات أو انثناءات فى القشرة الأرضية نتيجة خضوع تلك القشرة للجاذبية الأرضية والتى يتولد عنها قوى ضغط جانبية تؤدى إلى تلك التجعدات التى تعرف بالالتواءات. وتعتبر مناطق الأحواض البنائية المعروفة بالأحواض الجيولوجية Geosynclines المكان المناسب لتجعد والتواء الصخور. وتتوقف قابلية صخور القشرة للالتواء على الصفات الأساسية للصخر، وعلى مقدار الضغط الذى يتعرض له. ويتألف أى التواء من قسم محدب إلى أعلى Anticline وقسم مقعر إلى أسفل Syncline. ويتركب كل التواء من العناصر التالية: المستوى المحورى Axial Plane - المحور Axis - الجناحان Limbs - القمة Crest (فى حالة الالتواء المحدب) وتسمى أحياناً بالهامة - القاع Trough (فى حالة الالتواء المقعر) ويسمى أحياناً بالقعر - زاوية ميل المستوى المحورى عن المستوى الأفقى، زاوية ميل المستوى المحورى عن المستوى الرأسى - زاويتى ميل الجناحين (شكل ٨٢).



شكل (٨٢)

عناصر الالتواء

أنواع الالتواءات:

يمكن تمييز أنواع عديدة من الالتواءات تبعاً لاتجاه ميل الجناحين بعيداً عن المستوى المحوري أو نحو المستوى المحوري، وتبعاً لزاوية ميل المستوى المحوري عن المستوى الأفقي، وأيضاً تبعاً لميل المستوى المحوري عن المستوى الرأسي (شكل ٨٣).

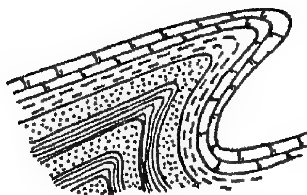
(أ) **الالتواء المحدب المتماثل أو المنتظم Symmetrical Anticline**: وهو التواء تنثني فيه الصخور إلى أعلى ويميل الجناحان نحو الخارج بعيداً عن المستوى المحوري أي إلى أسفل وبزوايا متساوية نتيجة لأن المستوى المحوري في وضع رأسي تماماً وأيضاً غير مائل عن المستوى الأفقي.

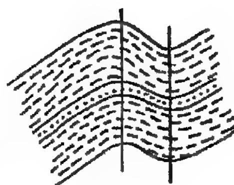
(ب) **الالتواء المقعر المتماثل Symmetrical Syncline**: وهو التواء تنثني فيه الصخور إلى أسفل، ويميل الجناحان نحو الداخل أي نحو المستوى المحوري أي يتجه الجناحان إلى أعلى ويكونا متباعدين وزاويتي ميلهما

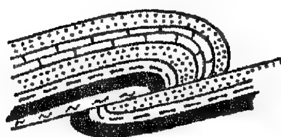














شكل (٨٢)

الأنواع الرئيسية للالتواءات

متساويتان، كما أن المستوى المحورى فى وضع رأسى تماماً وغير مائل على المستوى الأفقى.

ويلاحظ عند تآكل قمة الالتواء المحدب أو أعالى جناحى الالتواء المقعر بفعل عوامل التعرية، فإن أجزاء من الطبقات الصخرية المكونة للالتواء تظهر وتنكشف على سطح الأرض وتسمى بالمكاشف Outcrops على جانبى المستوى المحورى. وفى حالة الالتواء المحدب توجد مكاشف الطبقات الأقدم عند المركز أى عند المستوى المحورى ويتعاقب على الجانبين مكاشف الطبقات الحديثة فالأحدث فالأحدث. أما فى حالة الالتواء المقعر فإن مكاشف الطبقات الأحدث تكون فى المركز عند المستوى المحورى ويتعاقب على الجانبين مكاشف الطبقات القديمة فالأقدم فالأقدم.

(جـ) **الالتواء غير المتماثل Assymmetrical Fold**، وهو التواء - محدب أو مقعر - لا تتساوى فيه زاويتى ميل الجناحين على جانبى المستوى المحورى، وهذا يعنى أن المستوى المحورى مائل بالنسبة للمستوى الرأسى.

(د) **الالتواء أحادي الميل Monoclinal Fold**، وهو التواء شبه سلمى فى الطبقات الأفقية أو خفيفة الميل. ويتكون من تغير فى قيمة زاوية الميل من خفيف إلى أكثر ميلاً ثم يعود خفيفاً مرة أخرى. ولهذا الالتواء جناح واحد فقط One Limb.

(هـ) **الالتواء المقلوب Overturned Fold**، وهو التواء يزيد فيه مقدار عدم التماثل حتى يزيد الميل على أحد الجناحين عن ٩٠°، وفى هذه الحالة يكون المستوى المحورى مائلاً على أحد الجناحين وتحت الجناح الآخر جزئياً.

(و) **الالتواء النائم Recumbent Fold**، وهو التواء يمثل أقصى حالات الانقلاب ويمكون جناحاه مائلين فى نفس الاتجاه، ويقترب المستوى المحورى من الوضع الأفقى حتى أن جناحى الالتواء يكونا تقريباً متوازيان والواحد منهما فوق الآخر.

(ز) **الالتواء الغاطس Pitching or Plunging Fold**، وهو الالتواء المحدب أو المقعر الذى يكون فيه المستوى المحورى مائلاً عن المستوى الأفقى. وتعرف الزاوية المحصورة بين خط المحور والمستوى الأفقى بزاوية الغطس.

(ح) **الالتواءات المركبة Composite Folds**: تمثل الأنواع السابقة التواءات بسيطة تتكون من ثنية واحدة محدبة أو مقعرة، وهناك أنواع من الالتواءات معقدة التركيب تتكون من عدة ثنيات محدبة ومقعرة متتابعة قد تكون من نوع واحد أو من أنواع مختلفة. وإذا كان التركيب العام للالتواء المركب من النوع المحدب يسمى بالالتواء المحدب المركب، أما إذا كان اتجاهه العام مقعراً فيسمى بالالتواء المقعر المركب.

(ط) **القبة Dome والحوض Basin**: وهما تركيبان جيولوجيان يمثل الأول التواء محدباً تميل فيه الطبقات نحو الخارج وفي جميع الاتجاهات وذلك من نقطة مركزية هي قمة القبة. وليس لهذا الالتواء مستوى محوري أو محور. ويمثل الثاني التواء مقعراً تميل فيه الطبقات نحو نقطة مركزية داخلية من جميع الاتجاهات، وتمثل هذه النقطة مركز الحوض. وأيضاً ليس لهذا الالتواء مستوى محوري أو محور. وعندما يتعرض التركيب القبابي والتركيب الحوضي لعوامل التعرية ويصبح سطح الأرض شبه مستوى أو مموج، يلاحظ أن مكاشف الطبقات تكون على شكل دوائر متحدة المركز تقريباً. وفي تركيب القبة يتدرج العمر النسبي للمكاشف الصخرية من الحديث إلى القديم وذلك بالإتجاه من الأطراف نحو المركز، وعلى العكس من ذلك بالنسبة لتركيب الحوض حيث يتدرج العمر النسبي للمكاشف من القديم إلى الحديث بالاتجاه من الأطراف نحو الداخل.

أثر الالتواءات في تضاريس سطح الأرض :

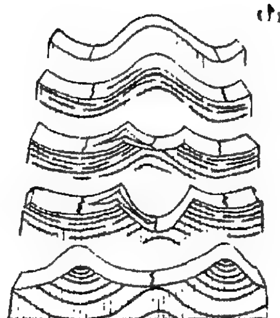
عند ظهور الالتواءات على سطح الأرض فإن المناطق المرتفعة ترتبط بالالتواء المحدب والمناطق المنخفضة ترتبط بالالتواء المقعر، أي أن تضاريس سطح الأرض ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتركيب الجيولوجي. ويعرف هذا المظهر التضاريسي بالمظهر التضاريسي الأصلي، كما يسمى سطح الأرض بالسطح الأصلي Initial Surface. وينشأ عن الالتواءات المحدبة سلاسل جبلية قد تمتد لمسافات بعيدة وتضم تلك السلاسل أشكالاً متنوعة من الالتواءات. كما ينشأ عن الالتواءات المقعرة التي تمتد محاورها لمسافات مناسبة وقد تكون كبيرة أودية التوائية تجري في قيعانها مجاري نهرية. مثل أودية جبال الألب وجبال الجورا ووادي إيبرو، وأيضاً أودية جبال الروكي مثل وادي سان جواكين، وأودية جبال الهيمالايا خاصة في تفريعاتها الجنوبية الشرقية.

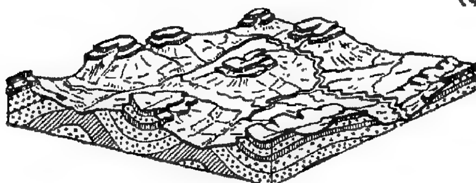
وعندما تنثنى الطبقات الصخرية فى التواءات محدبة ومقعرة متتابعة فإن الصخور التى تحدبت إلى أعلى تشغل مسافة أكبر من مسافتها الأصلية، ولتعويض هذا الفرق تتشقق الطبقات فى شقوق تكون أكثر عمقاً واتساعاً وأكثر عدداً وكثافة عند قمة التحدب فتصبح ضعيفة. أما الصخور التى تقعرت إلى أسفل فإنها تشغل مسافة أقل من مسافتها الأصلية فتزداد اندماجاً وتماسكاً. وعندما تتعرض تلك التراكيب إلى عوامل التجوية والتعرية والإزالة وفى مقدمتها المياه الجارية فإنها تعمل على نحت وتفتيت الأجزاء المحدبة المرتفعة وتنقل موادها إلى الأجزاء المقعرة فيأخذ سطح الأولى فى الانخفاض بينما يأخذ سطح الثانية فى الارتفاع. وكثيراً ما تنشأ عند قمم ا لمحدبات مجارى نهرية تعرف بالأنهار التالية Subsequent، ويتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى تتآكل القمة ويحل محلها منطقة حوضية مقعرة فى حين تتحول المقعرات نتيجة لتكدس الرواسب فيها وارتفاعها التدريجى إ لى مناطق مرتفعة المنسوب. وتستغرق هذه العملية عادة أزمنة طويلة تقدر بملايين السنين خصوصاً إذا كانت الثنيات المحدبة كبيرة الحجم وصخورها شديدة الصلابة. ويطلق على هذا المظهر التضاريسى التى تتفق فيه المناطق المرتفعة مع الثنيات المقعرة والمناطق المنخفضة مع الثنيات المحدبة اسم التضاريس أو الطبوغرافيا المعكوسة Reversed Topography (شكل ٨٤).

٢- الانكسارات Faults :

الكسر هو صدع أو فاصل فى مجموعة من الصخور يصاحبه انزلاق أو حركة نسبية بين الصخور على جانبى الكسر. وهذه الحركة النسبية عبارة عن إما ازاحة رأسية تؤدى إلى اختلاف فى المنسوب على جانبى الكسر، أو ازاحة أفقية تؤدى إلى التباعد عن المواقع الأصلية. ويتراوح مقدار الازاحة من بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار بل أحياناً تصل الازاحة إلى عشرات ومئات الأمتار. وتحدث الحركة الناشئة من تكون الصدوع فجأة أو على فترات متلاحقة، وأحياناً تحدث ببطء شديد بحيث لا يشعر بها الإنسان. ويتألف الانكسار من عناصر توضح طبيعة الحركة المسببة له والناجمة عنه هى (شكل ٨٥) :

(أ) **مستوى الانكسار Fault Plane**، وهو المستوى الذى يحدث عنده الكسر فى الصخور وقد يكون رأسياً أو مائلاً.





شكل (٨٤)

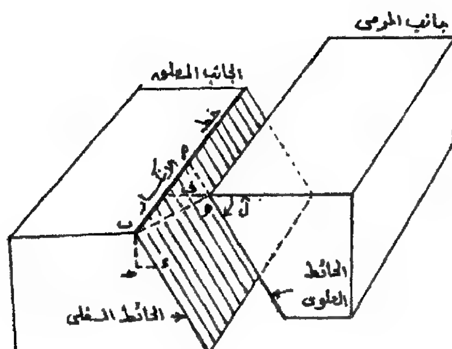
أ- مراحل تكون التضاريس (الطبوغرافيا) المعكوسة.

ب- مجسم يوضح ظاهرة التضاريس المعكوسة نتيجة نشاط التعرية النهرية علي محاور الالتواءات المحدبة

(ب) خط الانكسار Fault Line، وهو الخط الناتج من تقاطع مستوى الانكسار مع سطح الأرض.

(جـ) ميل الانكسار Dip of Fault، وهو الزاوية الرأسية المحصورة بين المستوى الأفقي ومستوى الانكسار.

(د) الحائط العلوي Hanging Wall والحائط السفلي Foot Wall، تسمى الكتل الصخرية التى تقع فوق مستوى الانكسار بالحائط العلوى، أما تلك الواقعة أسفله فتسمى بالحائط السفلى. وفى حالة الانكسارات الرأسية أى يكون



ا ب = الإزاحة المضربية

ا هـ = ب د = إزاحة الميل

ف = الإزاحة الأفقية

ب هـ = الإزاحة القطرية

هـ د = الزحف

ب هـ = قيمة الرمية

لْ = زاوية الميل

عناصر الانكسار

شكل (٨٥)

مستوى الانكسار رأسياً تماماً فلا يوجد حائط سفلى أو حائط علوى حيث أن الكتلتين اللتان يفصلهما مستوى الانكسار تقعان على جانبيه.

(هـ) **نطاق الانكسار Fault Zone**: وهو المنطقة التى يتم فيها سحق وطحن الصخور أثناء انزلاق الكتل الصخرية على مستوى الانكسار. وقد تحدث عمليات تحول صخرى منخفض الدرجة نتيجة الحرارة الناجمة عن الاحتكاك الشديد أثناء الانزلاق. كما توجد انكسارات ثانوية عديدة موازية للانكسار الرئيسي وتعتبر صدى له. وفى الانكسارات الضخمة الرئيسية ذات الرمية الكبيرة يتسع نطاق الانكسار إلى مئات الأمتار وقد يصل إلى أكثر من كيلو متراً واحداً.

(و) **الازاحة الرأسية (الرمية) Throw**: وهى المسافة العمودية بين سطحين متناظرين لطبقة واحدة على جانبى مستوى الانكسار وتعرف أحياناً بالمرمى. ويتراوح مقدار الرمية بين بضعة سنتيمترات وبضعة مئات من الأمتار تبعاً لقوة الانكسار.

(ز) **الازاحة الأفقية Net Slip**: وهى المسافة الأفقية بين نقطتين – كانتا فى الأصل نقطة واحدة – على جانبى مستوى الانكسار.

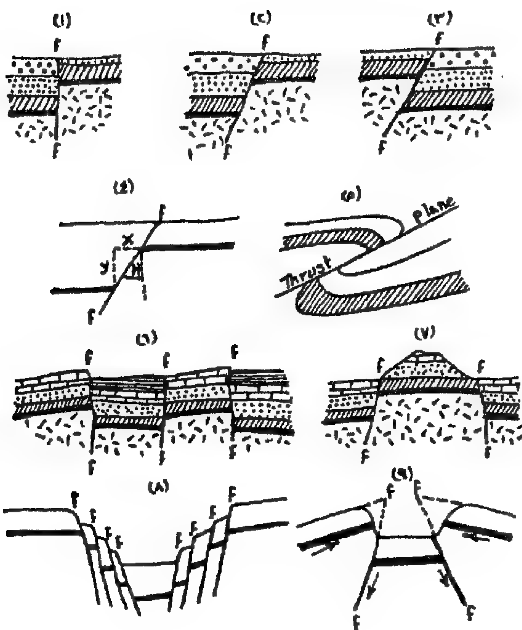
(ح) **الازاحة المضربية Strike Slip**: وهى المسافة الأفقية التى تعبر عن الحركة النسبية بين كتلة جانب المرمى وكتلة الجانب المعلق.

(ط) **طول الانكسار Fault Length**: وهو طول خط الانكسار، وتمتد بعض الانكسارات مئات الكيلو مترات بينما لا يزيد امتداد لابعض الآخر عن بضعة أمتار.

أنواع الانكسارات :

تنتج الانكسارات إما عن عامل شد أو عامل ضغط للطبقات الصخرية، لذا فإن تصنيف الانكسارات إلى أنواع يتوقف على نوع الحركة المحدثة للانكسار، وأيضاً على طبيعة ترتيب مجموعات الانكسارات فى الصدوع المركبة (شكل ٨٦) : .

(أ) **الانكسار العادي (البسيط) Normal Fault**: وهو ينتج عن حركات الشد والانزلاق، وتكون الرمية فى اتجاه ميل مستوى الصدع. ويلاحظ أن تأثير هذا النوع من الانكسارات هو ازدياد المسافة الأفقية التى كانت تغطيها



FF: خط الانكسار.

١ – انكسار رأسي عمودي.

٢ – انكسار عادي (مائل).

٣ – انكسار معكوس.

٤ – تعاريف خاصة بالانكسار: (X) الازاحة الأفقية / م.

(Y) الازاحة الرأسية (مقدار رمية الانكسار) / م.

(H) زاوية ميل الانكسار عن المستوى الرأسي.

٥ – انكسار زاحف (منزلق).

٦ – أرض تأثرت بمجموعة من الانكسارات تعرف باسم الحوض والسلسلة.

٧ – انكسار قافز.

٨ – انكسار أخدودي سلمي.

٩ – انكسار أخدودي ناتج عن عملية ضغط.

شكل (٨٦)

الأنواع الرئيسية للانكسارات

الطبقات أصلاً. وتنشأ هذه الزيادة من أن صخور الحائط العلوى قد انزلقت إلى أسفل بالنسبة لصخور الحائط السفلى.

(ب) **الانكسار العكسي Reversed Fault**، ويعرف بانكسار الضغط وفيه تكون الرمية فى اتجاه عكس ميل مستوى الصدع. وفى هذا النوع تتحرك صخور الحائط العلوى إلى أعلى بالنسبة لصخور الحائط السفلى، وينتج عن ذلك قصر المسافة الأفقية التى كانت تغطيها الطبقات أصلاً.

(جـ) **الانكسار العمودي Vertical Fault**، وفى هذا الانكسار يكون مستوى الانكسار عمودياً على المستوى الأفقى أى أن زاوية ميله تساوى ٩٠° ولا تتأثر المسافة الأفقية التى كانت تشغلها الطبقات قبل حدوث الانكسار.

(د) **الانكسار السلمي (الدرجي) Step Fault**، وهى مجموعة من الانكسارات العادية المتوازية وتكون رميتها فى اتجاه واحد.

(هـ) **الانكسار الأخدودي Graben Fault**، وينشأ عن مجموعة من الانكسارات المتوازية العادية أو العكسية يرمى جانب منها فى اتجاه ويرمى الجانب الآخر فى عكس الاتجاه فينتج عن ذلك خفض المناطق الوسطى بالنسبة للكتل الجانبية. ومن أبرز الأمثلة على هذا النوع من الانكسارات مجموعة انكسارات شرق أفريقيا والبحر الأحمر.

(و) **الانكسار القافز Horst Fault**، يرتبط هذا النوع عادة بالتراكيب المحدبة وينشأ عن مجموعة من الانكسارات المتوازية العادية ترمى فى اتجاهين متضادين بزاوية تتراوح بين ٤٥°، ٧٥° عن محور التحدب أى اتجاه القوة الأساسية التى كونت التحدب. وبذلك تظل الكتلة الوسطى على نفس المنسوب أو تقفز إلى أعلى بينما تنخفض الكتل الجانبية إلى أسفل.

(ز) **الانكسار ذي الازاحة الأفقية Tear Fault**، وهو انكسار تتحرك على جانبيه الكتل الصخرية حركة أفقية فقط وليس لها أية ازاحة رأسية أى لا توجد رمية. ومن أبرز الأمثلة على هذا النوع صدع سان أندرياس على الجانب الغربى لأمريكا الشمالية.

ويندر أن يتكون انكسار واحد فى الجهات التى تتعرض لقوى الشد، فغالباً ما تنشأ مجموعة من الانكسارات متباينة الأنواع متوازية أو متقاطعة بعضها صغير وبعضها كبير. وكذلك عندما يزداد الضغط الجانبى على الالتواء الناتج تتصدع وتتكسر الصخور عند محوره وينفصل الجناح العلوى عن الجناح السفلى

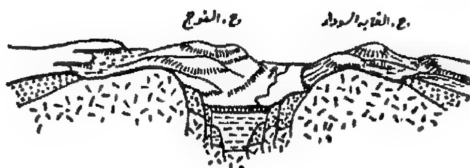
ويزحف فوقه ويغطيه جزئياً. ويعرف الانكسار في هذه الحالة بالانكسار الزاحف أو المضاعف Overthrust Fault، أو يعرف بالالتواء الزاحف Nappe. وقد يؤدى استمرار الضغط الجانبى إلى زحف الغطاء الصخرى عشرات الكيلو مترات، ويتضح من ذلك أن هذا الالتواء المنكسر يرتبط فى نشأته بحركات الانثناء والانكسار معاً وأن القوة الرئيسية التى تسببه هى الضغط الجانبى.

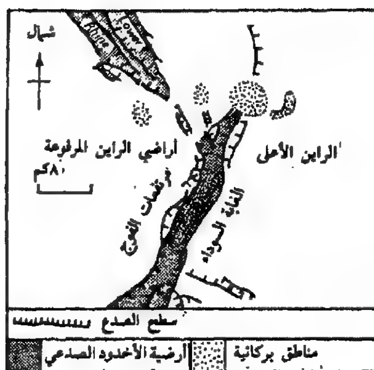
أثر الانكسارات في تشكيل سطح الأرض :

تنشأ عن الانكسارات ظاهرات تضاريسية من أهمها :

(أ) **الحافات الصدعية Fault Scarpe**، وهى عبارة عن جروف تمتد على طول الانكسارات ويختلف ارتفاعها تبعاً لمقدار الرمية، كما يتوقف انحدارها على درجة ميل مستوى الصدع. إلا أن عوامل التعرية لا تترك مثل تلك الحافات قائمة إنما تعمل على تآكلها وتراجعها وطمس كثير من معالمها وإزالتها فى النهاية ولا يتبقى منها إلا مجموعة من التلال تنتظم على امتداد خط واحد تشير إلى موقع وامتداد الحافة الصدعية القديمة. وتساعد الصخور ضعيفة المقاومة على سرعة ازالة معالم الحافة والظاهرات المرتبطة بها مثل الأودية التى تنحدر على واجهاتها. وتتأثر المجارى النهرية بالحافات الصدعية فيتكون المسقط المائى Waterfall إذا كان اتجاه رمية الانكسار تجاه المصب.

(ب) **الأودية الأخدودية Graben or Rift Valleys**، وهى تتكون نتيجة انكسار أخدودى وهبوط الجزء الأوسط واندفاع الجانبين قليلاً إلى أعلى، وتستغل المياه الساقطة هذه الحفرة الأخدودية الطولية وتنحدر فيها مكونة مجرى مائى ومن ثم وادى نهرى أخدودى. ومن أمثلتها الوادى الأخدودى الذى يشغله نهر الراين فى المنطقة الواقعة إلى الشمال من مدينة بازل ولمسافة تصل إلى ٣٢٠ كم وباتساع نحو ٣٠كم، والحافة القافزة الشرقية هى جبال الغابة السوداء والحافة الغربية القافزة هى جبال الفوج (شكل ٨٧). ومن أبرز وأضخم الأخاديد على سطح الأرض المجموعة الأخدودية التى تمتد فى شرق أفريقيا وغرب آسيا والمعروفة بنظام الأخدود الأفريقى العظيم الذى يمتد لمسافة أكثر من ٦٠٠٠ كم من بلدة بيرا جنوب مصب نهر الزامبيزى جنوباً إلى جبال طوروس فى شمال سوريا شمالاً. ويشغل قاع الاخدود قبل تفرعه إلى فرعين شرقى وغربى بحيرة نياسا وهى بحيرة





شكل (٨٧)

وادي نهر الراين الاخدودي

الشكل العلوي: مجسم يبن الوادي الاخدودي

الشكل السفلي: خطوط الصدوع والمناطق البركانية

عذبة، كما تقع بحيرات تنجانيقا وكيفو وادوارد والبرت والمجارى النهرية بينها فى قاع الفرع الغربى وهى كلها بحيرات ذات شكل طولى وعميقة ومياهها عذبة. أما بحيرات الذراع الشرقى فهى صغيرة إلا من بحيرة رودلف، وبعضها شديد الملوحة. كما يشغل الفرع الشرقى بعد تفرعه فى منطقة عفار بجيبوتى إلى فرعين خليج عدن والبحر الأحمر بذراعيه السويس والعقبة ويمتد هذا الأخير حتى يصل إلى جبال طوروس ويشغل قاعه وادى عربه والبحر الميت ونهر الاردن وبحيرتى الحولة وطبريا ونهر العاصى. وتعتبر جبال البحر الأحمر حافته القافزة الغربية و سلسلة جبال الحجاز وعسير واليمن حافته الشرقية القافزة (شكل ٨٨).

شكل (٨٨)

الأخدود الأفريقي العظيم

(نظام أخدود البحر الأحمر وشرق أفريقيا)

(جـ) **الهضاب الصدعية القافزة Horsts**: وهى مناطق مرتفعة عكس الأودية الأخدودية إذ يرتفع الجزء الأوسط بين انكسارين متوازيين وتنخفض الأجزاء الجانبية. وعادة يتجاور سلسلة من الهضاب القافزة والأودية الاخدودية مثل أجزاء من نظام الحوض والجبل فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وهضبة بوهيميا فى وسط أوربا.

٣- الشقوق Cracks والفواصل Joints :

وهى عبارة عن كسور تصيب الصخور ولا ينتج عنها أى تغير فى أوضاعها أى لا تحدث إزاحة أفقية أو رأسية. وإذا كانت تلك الكسور كبيرة نسبياً فإنها تعرف بالفواصل وإذا كانت أصغر فتعرف بالشقوق. وهى توجد فى مجموعات قد تكون موازية لبعضها البعض أو ذات اتجاهات مختلفة أو قد تتقاطع بزوايا مختلفة قد تصل إلى ٩٠°. وينتج عن ذلك أجزاء منفصلة من الصخر على هيئة منشوات أو كتل مكعبة الشكل. وأحياناً تتقارب الشقوق تقارباً شديداً فيتفتت الصخر على هيئة كتل صغيرة.

وتعتبر الشقوق والفواصل من أهم مناطق الضعف الجيولوجى فى الصخر فتهاجمها عوامل التجوية الميكانيكية والكيميائية مما يؤدى إلى اتساعها وتعمقها وأيضاً عوامل التعرية المائية حيث تتغلغل المياه نحو باطن الصخر فتذيبه وتفتته ومن ثم تنشأ المجارى النهرية التى تعمل على توسيع وتعميق الفاصل، أى أن الفواصل والشقوق تساعد عمليات التعرية على القيام بعملها فى تشكيل سطح الأرض.

وقد تنتج الشقوق فى الصخور النارية عند فقدانها لدرجة الحرارة وتقلصها وانكماشها، ومن أبرز الأمثلة الفواصل التى توجد فى الصخور البازلتية والتى تؤدى إلى تكوّن الأعمدة البازلتية سداسية الأوجه المعروفة.

ثانياً: الحركات الباطنية الفجائية السريعة

يقصد بالحركات الباطنية الفجائية القوى الداخلية التى تنشأ فى باطن الأرض وتؤثر فى تشكيل قشرتها الخارجية، وتظهر آثار تلك القوى على سطح الأرض بصورة فجائية وسريعة. وتعد الزلازل وعمليات البركنة Vulcanism والنافورات الحارة محصلة لتلك القوى الداخلية التى تمتلك طاقة حرارية عظيمة تتحول باستمرار إلى قوة حركة تدفع من خلالها أجزاء القشرة الأرضية فى اتجاهات متباينة وتحرك فى نفس الوقت المواد التى تتضمنها.

١ - الزلازل Earthquakes :

الزلازل عبارة عن اهتزازات فى القشرة الأرضية نتيجة لانكسارات تحدث فيها أو فى القسم العلوى من طبقة الوشاح mantle. كما تحدث الزلازل مصاحبة للثورانات البركانية العنيفة. وقد تكون الهزة شديدة يشعر بها الإنسان أو ضعيفة لا يشعر بها إلا أجهزة الرصد الزلزالية وتسجلها. وقد أشرنا من قبل عند الحديث عن تركيب الأرض أنواع الموجات الزلزالية وخصائصها. ويسمى المكان الذى ينشأ فيه الزلزال ويقع أسفل سطح الأرض بالمركز الداخلى Hypocenter أو البؤرة الباطنية وذلك تمييزاً له عن المركز أو البؤرة السطحية Epicenter الذى يقع عند سطح الأرض عمودياً على المركز الداخلى ومنه تنتشر الموجات الزلزالية السطحية. وتتباين مساحة البؤرة السطحية حسب عمق البؤرة الباطنية وحسب شدة الزلزال. إذ قد لا تتجاوز بضع عشرات من الكيلو مترات المربعة كما فى زلزال أغادير بالمغرب عام ١٩٦٠ (٥٠كم٢) حيث كان عمق بؤرته الباطنية حوالى ثلاثة كيلو مترات، وقد تصل مساحة البؤرة السطحية إلى مئات من الكيلو مترات المربعة كما فى زلزال ألما آتا بالتركستان عام ١٩٤٩ (٢٨٨ كم٢) حيث كان عمق بؤرته الباطنية بين ١٥ و ٢١ كيلو متراً.

وتنقسم الزلازل تبعاً لبعد المركز الداخلى عن سطح الأرض إلى :

(أ) زلازل سطحية ومركزها الداخلى على عمق أقل من ٥٠ كم.

(ب) زلازل متوسطة ومركزها الداخلى على عمق يتراوح بين ٥٠، ٢٥٠كم.

(جـ) زلازل عميقة ومركزها الداخلى على عمق يتراوح بين ٢٥٠، ٧٠٠كم.

ويجب الإشارة هنا إلى أن هناك علاقة عكسية بين عدد الزلازل ومقدار عمق البؤرة الزلزالية الباطنية ويبين الجدول التالى تلك العلاقة.

جدول رقم (١٨)

العلاقة بين عدد الزلازل ومقدار عمق البؤرة الباطنية (عن ريختر عام ١٩٤١)

العمق/كم	١٠٠	١٥٠	٢٠٠	٢٥٠	٣٠٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٥٠	٥٠٠	٥٥٠	٦٠٠	٦٥٠	٧٠٠
العـــدد	١٧٨	١٠٩	٨٢	٤٦	٣٢	٣٢	٣٦	١٣	٢٢	٢٥	٣٩	١٩	٧

تصنيف الزلازل:

تصنف الزلازل فى مجموعات ثلاث تبعاً لأسباب تكونها :

(أ) **زلازل بنائية (تكتونية Tectonic)**، وهى تلك المصاحبة لحدوث الانكسارات والتشققات التى تحدث على عمق يتراوح بين ٣و ٢٥ كيلو متر وقد يصل إلى ٧٠ كم. ويعتبر هذا النوع من الزلازل الأكثر انتشاراً. ومن زلازل هذا النوع زلزال الاسكا عام ١٨٩٩ وزلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ وزلزال اليابان عام ١٩٢٣.

(ب) **زلازل بركانية:** وهى المصاحبة لانفجار البركان، إذ تندفع الغازات والماجما بعنف إلى أعلى مشققة سطح الأرض وقاذفة ما تحمله إلى الجو ومؤدية إلى حدوث موجات اهتزازية قوية. وتتميز المراكز الباطنية الزلزالية المصاحبة لحدوث البراكين بأنها قريبة من سطح الأرض، وتقتصر موجاتها على منطقة محدودة هى منطقة البركان نفسه. وأشهر الزلازل البركانية تلك التى صاحبت بركان كراكاتوا فى اندونيسيا عام ١٨٨٣ وبراكين مونالاوا وكيلاوايا بجزر هاواى.

(جـ) **زلازل بلوتونية:** وتوجد مراكزها على أعماق تتراوح بين ٢٥٠ ، ٧٠٠كم، ويحتمل أن يكون سببها انفجارات كيميائية أو إعادة تبلور الصخور أو القلقة التى تحدث عند محاولة المعادن والصخور الوصول إلى حالة اتزان جديدة تتناسب مع القوى الواقعة تحت تأثيرها.

شـدة الـزلـزال :

تحدد شدة الزلزال من خلال ملاحظة ووصف مظاهر التدمير والأضرار التى يحدثها الزلزال. وهناك مقاييس رقمية وأخرى وصفية لشدة الزلزال. ولقد وضع ريختر Richter عام ١٩٥٣ مقياساً رقمياً بعد دراسة حوالى ٤٥٠٠ هزة أرضية عنيفة حدثت فى الفترة بين عامى ١٩٠٢، ١٩٥٣ يقوم على حساب الطاقة المتحررة نتيجة تكون البؤرة الزلزالية الباطنية والى تعبر عن شدة الاشعاع البؤرى، وهو يتكون من عشر درجات. والصفر الزلزالى فى هذا المقياس هو ذلك المقدار من الطاقة الذى يمكن أن يسجله جهاز السسموجراف المعروف بجهاز وود – أندرسون (Wood-Andrson X) الذى يقع على مسافة ١٠٠ كم من البؤرة الزلزالية، ويظهر هذا المقدار على شكل نبضات تظهر بالكاد

على شريط التسجيل. أو بعبارة أخرى أن المقدار صفر هو ذلك الزلزال الضعيف جداً والذى لا يشعر به أحد. وهذه الهزة ناجمة عن تكون شق فى مكان البؤرة الزلزالية الباطنية يتراوح طوله بين ٣٠، ٥٠ متراً ولا تزيد حركة جانبيه عن ٠,٠١ ملليمتر، ويعد هذا الزلزال زلزالاً معيارياً. أما القيم الأخرى فى المقياس فهى تعبير عن الطاقة المحررة وهى لوغاريتم العلاقة النسبية بين سعة الاهتزاز فى زلزال ما وسعة الاهتزاز فى الزلزال المعيارى الذى قيمته صفر. فالقيمة (١) تعنى أن شدة الزلزال يساوى عشرة أمثال شدة الزلزال المعيارى الذى مقداره صفر، والقيمة (٢) تعنى أن شدة الزلزال يساوى مائة مثل شدة الزلزال المعيارى، وكذا القيمة (٣) تعنى أن شدة الزلزال يساوى ألف مرة قدر شدة الزلزال المعيارى الذى مقداره صفر. (لاحظ أن لو ١٠ = ١، لو ١٠٠ = ٢، لو ١٠٠٠ = ٣ وهكذا).

جدول رقم (١٩)

بعض قيم مقياس ريختر الرقمي لشدة الزلزال

شدة الزلزال	الآثار التدميرية
٢,٥	لا يشعر به إلا القليل من الناس وتسجله أجهزة التسجيل.
٤,٥	يحدث أضراراً محلية بسيطة.
٦,٠	تخريب فى المناطق المأهولة بالسكان.
٧,٠	زلازل رئيسية – أضرار كبيرة جداً وعنيفة – يحدث فى حدود عشر مرات فى السنة.
أكثر من ٨,٠	زلازل عنيفة جداً وتخريب كامل فى المنشآت – يحدث مرة كل ٥ – ١٠ سنة فى المتوسط.

وهناك مقياس آخر نوعى لشدة الزلازل وضعه العالم الإيطالى ميركالى ويعرف بمقياس ميركالى Mercalli Scale ويتكون

من ١٢ درجة. وقد أدخلت عليه فيما بعد تعديلات قيمة وعديدة وعرف بمقياس ميركالى المعدل والذى يعرف بالرمز (M. M). ويبينه الجدول التالى :

جدول رقم (٢٠)

مقياس ميركالي المعدل لشدة الزلزال

درجة شدة الزلزال	متوسط سرعة الموجة الزلزالية كم/ث	وصف الزلزال وشدة تدميره
١		لا يشعر به إلا بعض الناس وفى حالات خاصة.
٢		يشعر به القليل من الناس وبخاصة سكان الطوابق العليا، كما تهتز بعض الأشياء المعلقة مثل الثريات.
٣		يشعر به الناس بوضوح وبخاصة سكان الطوابق العليا، ولكن أكثر الناس لا يدركون أنه زلزال ويمكن للسيارات الواقفة أن تهتز برفق. وهو يشبه الاهتزاز الذى تحدثه مرور سيارة نقل كبيرة.
٤	١ – ٢	يشعر به كثير من الناس داخل المنازل والقليل فى خارجها، وقد يوقظ البعض فى الليل. وتهتز الأبواب والنوافذ والأطباق ويصدر صوتاً من الجدران الخشبية وتهتز بعض السيارات.
٥	٢ – ٥	يشعر به كل الناس تقريباً ويوقظ الكثيرين فى الليل وتتكسر بعض النوافذ والأطباق وتنقلب الأشياء ضعيفة التعلق، كما يتوقف بندول ساعة الحائط وتهتز الأشجار الطويلة.
٦	٥ – ٨	يشعر به كل الناس والبعض يهرب من المنزل وتتزحزح قطع الأثاث الثقيلة من مكانها وتسقط الأشياء الخفيفة من على الأرفف كما تحدث أضرار فى المآذن والأبراج والمداخن.
٧	٨ – ١٢	يهرب كل الناس خارج المنازل، تحدث أضرار بسيطة فى المبانى المتينة، وتتزايد الأضرار مع قدم وقلة متانة المبنى، تتهدم بعض المآذن والأبراج والمداخن، ويشعر به الناس فى السيارات.

٨	٢٠ – ٣٠	تتضرر المباني المادية بشدة كما تتضرر المنشآت المقاومة للزلازل ولكن بصورة بسيطة، وتتساقط البيوت القديمة والمداخن والأعمدة والجدران، وتنقلب قطع الأثاث المنزلية الثقيلة. ويتغير مستوى الماء الباطني في الآبار، وتتجعد الصخور الرملية والطفلية والطينية.
٩	٤٥ – ٥٥	تتضرر المنشآت المقاومة للزلازل وتتهدم المنازل المتينة، كما تتزحزح قواعد أساسات المنازل وتتشقق الأرض.
١٠	أكبر من ٦٠	تنهار المنازل وتتشقق الأرض وتلتوى قضبان السكك الحديدية وتحدث انزلاقات صخرية وتتساقط الصخور وتحدث بعض من زحف وتدفق التربة، كما تتأثر الأحواض المائية بشدة وتتحطم السدود.
١١		يبقى القليل من المنازل المقاومة للزلازل قائماً، وتتخرب الجسور والكباري وتظهر شقوق واسعة في الأرض.
١٢		خراب ودمار شامل وتتطاير الأشياء في الهواء ويتموج سطح الأرض.

توزيع الزلازل في العالم:

يمكن تحديد المناطق التي يكثر فيها حدوث الزلازل في نطاقين أو حزامين رئيسيين وعدد من الأحزمة أو النطاقات الثانوية (شكل ٨٩).

١– حزام الحلقة النارية حول المحيط الهادى، ويرتبط بالسلاسل الجبلية الممتدة دون انقطاع من الاسكا شمالاً حتى جزيرة تيرا ديل فويجو جنوباً في غرب الأمريكتين وامتدادها في قوس جزر فوكلند وجزر شتلند حتى أصبع شبه جزيرة انتاركتيكا المعروف باسم جراهام لاند. ويوجد أمام تلك السلاسل تجاه المحيط الهادى خوانق محيطية عميقة. كما يرتبط هذا الحزام بأقواس الجزر أمام الساحل الشرقي لقارة آسيا والممثلة في جزر الأليوشى ثم جزر الكوريل ثم جزر اليابان وقوس جزر الفلبين ثم قوس جزر بحر صندا (جزر الهند الشرقية) وامتداده في قوس جزر تونجا – كيرمادك حتى قوس جزر نيوزيلند. وترتبط تلك الأقواس الجزرية بالأخاديد المحيطية العميقة المرتبطة بحد الأنديسيت الذى يحدد حوض المحيط الهادى. ويطلق هذا الحزام نحو ٩٠ ٪ من الطاقة الزلزالية، كما يحدث فيه حوالى ٦٨ ٪ من زلازل العالم.

٢– النطاق المتوسطى الأسيوى، ويمتد بين المحيط الأطلسى في أقصى الغرب

إلى المحيط الهادى فى أقصى الشرق ويبدأ من جزر الآزور فى المحيط الأطلسى ثم يعبر البحر المتوسط ثم يمر بتركيا والقوقاز وإيران والهيمالايا وبورما واندونيسيا حتى يلتقى مع حزام الحلقة النارية حول المحيط الهادى. ويرتبط هذا النطاق بسلاسل الجبال الالتوائية الألبية فى شمال غرب أفريقيا وجنوب أوربا وامتدادها فى وسط آسيا حتى جنوبها الشرقى. والزلازل هنا قوية حيث مراكزها الباطنية عميقة حيث القشرة القارية سميكة، ويتراوح عمقها بين ٦٠٠، ٨٠٠كم وقد تصل أحياناً إلى ١٠٠٠ كم. ويحدث فى هذا النطاق حوالى ٢١٪ من زلازل العالم.

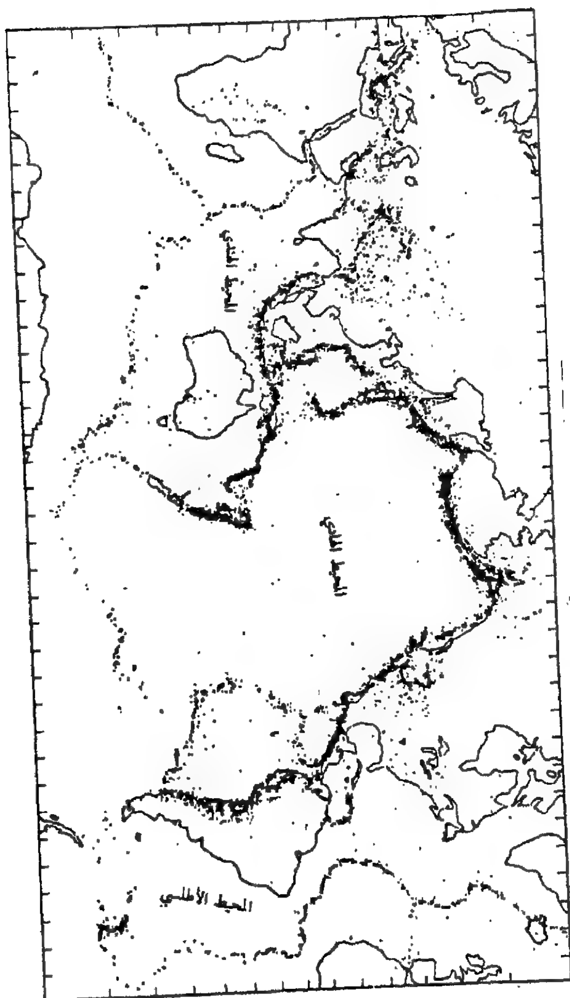
٣- منطقة الاخدود الأفريقى العظيم فى جنوب غرب آسيا وشرق أفريقيا وهى نطاق ثانوى أفريقى متفرع من النطاق المتوسطى الآسيوى.

٤- منطقة جبال آسيا الوسطى وجبال التاى وبايكال وما وراء البايكال وآسام وهى نطاق ثانوى أسيوى متفرع أيضاً من النطاق الرئيسى المتوسطى الأسيوى.

٥- مناطق السلاسل المحيطية الوسطى كسلاسل الأطلسى والهندى والهادى، والزلازل هنا ليست قوية حيث تقع مراكزها الباطنية قريبة من سطح القشرة الأرضية.

اقاليم الزلازل :

١- اقليم قوس جزر الأليوشي - الاسكا: يقع فى شمال المحيط الهادى وترتبط الزلازل هنا باندفاع لوح المحيط الهادى نحو قوس جزر الألوشى وغطسه تحتها مع حركة أفقية باتجاه الغرب أى فى اتجاه عكس حركة عقارب الساعة ونتيجة لذلك تتجمع ثم تتحرر طاقة عظيمة فتؤدى إلى حدوث بؤر زلزالية. ويعد زلزال مارس ١٩٦٤ أقوى زلزال عرفه هذا الاقليم وبلغت شدته بمقياس ميركالى ٩,٠. وقد بدأ التشقق الصخرى (البؤرة الباطنية) على عمق ٣٠كم فى خليج برنس وليامز ثم اتجه الشق نحو الغرب مسافة ١٠٠كم ثم أخذ اتجاهات زجزاجية نحو الشمال ثم الجنوب ونحو الغرب ثم الشرق، وبلغ مجموع أطوال تلك الشوق ٨٠٠كم، وقد تعمق هذا الشق من بؤرته الباطنية نحو باطن الأرض فى اتجاه مركزها مسافة تتراوح بين ١٨٠ - ٢٠٠كم، وبلغ مقدار الازاحة الرأسية بين جانبى الشق ١٠م. وأدى هذا الزلزال إلى هبوط جزء من الساحل فى البحر طوله ٣ كم وعرضه ٣٠٠م.



شكل (٨٩)

توزيع الزلازل في العالم

٢- اقليم الاسكا - المكسيك: ويقع على امتداد الساحل الغربي لأمريكا الشمالية، وترتبط الزلازل هنا بحركة الانزلاق الأفقية بين القشرة القارية الأمريكية والقشرة المحيطية المجاورة (صدع سان اندرياس) . ومن أشهر زلازل هذا الاقليم زلزال سان فرانسيسكو عام ١٨٦٨ والذى عاد وضرب المدينة مرة أخرى عام ١٩٠٦ والذى بلغت شدته ٨,٧، وزلزال جواتيمالا عام ١٧٧٣ وشدته ٧,٥ والذى عاد وضرب نفس المنطقة عام ١٩٧٦ وبلغت شدته أيضاً ٧,٥، وزلزال المكسيك عام ١٩٨٠ .

٣- اقليم الكاريبي: ويمتد على شكل قوس ضخم من شبه جزيرة يوكاتان حتى الحدود الكولومبية الفنزويلية ويمثله قوس جزر الهند الغربية . وترتبط الزلازل هنا بحركة اللوح الكاريبى حركة محورية في اتجاه عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وقد نشأت بؤر زلزالية باطنية أمام الجزء الشمالى والجزء الشرقى من اللوح تجاه المحيط الأطلسى . ومن أبرز زلازل هذا الاقليم زلزال عام ١٦٩٢ الذى دمر مدينة بورت رويال واختفاء الجزء الشمالى منها تحت سطح البحر. وزلزال كومانا بفنزويلا عام ١٧٩٧ وبلغت شدته ٧,٥، وأيضاً زلزال كاركاس عام ١٨١١ وشدته ٨,٥ وأدى إلى ظهور شق يوكون بطول ١٢٠٠ كم . وزلزال عام ١٨٦٢ الذى أدى إلى بروز قسم من اللوح الكاريبى بمحاذاة جزيرة ترينداد محتكاً بحقول البترول الفنزويلية .

٤- اقليم جبال الانديز: ويبدأ من عقدة بوكارا مانج بكولومبيا – وهى منطقة تماس اللوح الكاريبى مع الفرع الرئيسى لحزام الحلقة النارية حول المحيط الهادى فى تلك المنطقة – والتي تتميز بتمركز واضح للبؤر الزلزالية الباطنية العميقة . وتنتشر البؤر الزلزالية الأقل عمقاً على طول امتداد هذا الاقليم . وتبرز فى هذا الاقليم زلازل مشهورة بشدتها وعنفها مثل زلزال بيرو عام ١٧٤٦ وبلغت شدته ٨,٠ وزلزال الاكوادور عام ١٧٩٨ وشدته ٧,٣ وزلزال ميندوسا بالارجنتين عام ١٨٦١ وشدته ٧,١ ومجموعة زلازل الاكوادور وبيرو وشيلى عام ١٨٦٨ والتى بلغت شدتها ٥و٨ وهزت الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية، وزلزال بيرو عام ١٩٧٠ وبلغت شدته ٧,٨ وأدى إلى انهيار كميات هائلة من الصخور والجليد من قمم الجبال دفنت بلدة أو سكاران تحتها .

٥- اقليم نيوزيلند - غينيا الجديدة: ويمتد من جزر نيوزيلند عبر خانق تونجا كيرمادك المحيطى العميق (جزر تونجا، جزر فيجى) إلى خانق باوجيان فيل المحيطى (جزر سلومون، جزر نيو ايرلند) إلى جزر غينيا

الجديدة. ويصل عمق البؤر الزلزالية الباطنية في هذا الاقليم إلى ٦٠٠ كم. وقد أبانت الدراسات السيزمية الحديثة في هذا النطاق أن الصخور عند تلك الأعماق متجانسة وفي حالة لدنة وذات درجات حرارة عالية مما يشير إلى أن ظروف تشقق الصخور غير مواتية وأن تشققت فهي شقوق بسيطة ومتشابهة ولا تأخذ أشكالاً معقدة وسرعان ما تلتئم. وعلى الرغم من ذلك فهناك نشاط بنائي كبير وطاقة حرارية مختزنة هائلة قد تتحرر محدثة بؤر زلزالية تؤدى إلى زلازل عنيفة، ولا ننسى زلزالي عام ١٩٢٩ وعام ١٩٦٨ وكانت شدة كل منهما ٧,٨ اللذان ضربا نيوزيلندا، وزلزال فيجي – تونجا عام ١٩٧١ وكان عمق بؤرته الباطنية ٥٧٠ كم وبلغت شدته ٧,١.

٦- اقليم الفلبين - اليابان: يعاني أرخبيل جزر الفلبين وارخبيل جزر اليابان من تكرار حدوث زلازل قوية يرجع سببها إلى انزلاق وغطس لوح المحيط الهادى إلى أسفل وفي نفس الوقت في حركة أفقية في اتجاه عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ومن أبرز الزلازل التي ضربت اليابان زلازل أعوام ١٧٠٣ (٨,٢)، ١٧٠٧ (٨,٠)، ١٧٣٠ (٨,٠)، ١٧٩٢ (٨,٠) ويعرف بزلزال مينواداري ونتج عنه شق امتد مسافة ١٦٠كم وله حافة سلمية قافزة بلغ ارتفاعها ٢٠م، ١٨٢٨ (٨,٠)، ١٨٥٤ (٨,٤)، ١٨٩٦ (٨,٠)، ١٩٢٣ (٨,٦) ويعرف بزلزال طوكيو.

٧- اقليم الكوريل - كامتشاتكا: ويضم قوس جزر الكوريل وشبه جزيرة كامتشاتكا. ويشتهر هذا الاقليم بتعرضه كثيراً للأمواج التسونامية العنيفة الناجمة عن حركات صعود وهبوط شديدة لقاع المحيط نتيجة انزلاق لوح المحيط الهادى وغطسه إلى أسفل عند خانق الكوريل. ويصل تأثير الموجات التسونامية التي تنشأ في هذا الاقليم إلى اليابان والاسكا وإلى جزر الهاواى الواقعة بعيداً وسط المحيط الهادى.

٨- اقليم الصين: يتعرض هذا الاقليم إلى أكثر زلازل الأرض تدميراً وبخاصة الأقاليم الشرقية والوسطى وأيضاً في منطقة كوني لون ومنطقة جبال الهيمالايا. وشدة الزلازل في هذا الاقليم لا تقل عن ٧,٠ بل تصل أحياناً إلى ٩,٠ مثل زلزال عام ١٦٦٣ حيث تمركزت بؤرته السطحية في الجزء الساحلي من مقاطعة شانى دون (٨,٧) وبلغت مساحة منطقة التدمير نصف مليون كيلو متراً مربعاً على الرغم من أن بؤرته الباطنية كانت عميقة وظل الشق الأرضي

مدفوناً في أعماق الأرض ولم يظهر على السطح. وزلزال عام ١٥٥٦ المعروف بزلزال شي ينسي (٨,١) والذي نتج عنه تفكك وتفتت صخور اللويس الضعيفة وتحولها إلى مسحوق غباري متطاير وركام ترابي جرفته المياه في هيئة سيل طيني وهلك بسبب ذلك نحو ٨٣٠ ألف نسمة، ولم يسجل التاريخ خسائر بشرية بسبب الزلازل أكبر من ذلك. ومن أبرز الزلازل التي ضربت الصين زلازل شمال الصين عام ١٦٩٥ (٧,٥)، زلزال هان بسو عام ١٧١٨ (٧,٥)، زلزال شمال شرق الصين عام ١٧٣٠ (٨,٠) وزلزال هان سو عام ١٧٣٩ (٧,٥)، زلزال الصين عام ١٨١٥ (٧,١) وزلزال سيكان عام ١٨٥٠ (٧,٥)، وزلزال جانصو عام ١٩٢٠ (٨,٥)، زلزال نان شان عام ١٩٢٧ (٨,٠)، وزلزال هان سو عام ١٩٣٢ (٧,٦)، زلزال يونان – سيجوان عام ١٩٤٧ (٧,٠)، وزلزال يونان عام ١٩٧٠ (٧,٥).

٩- اقليم بورما - هندكوش (وسط آسيا): ويمتد من سلاسل جبال أراكان يوما إلى اقليم آسام ثم التبت ثم عقدة البامير الجبلية حيث توجد بؤرة زلزالية باطنية عميقة تعرف باسم بؤرة هندكوش الجبلية إلى سلسلة جبال هندكوش. ويلاحظ في هذا الاقليم أن البؤر الزلزالية السطحية لا تقع رأسياً فوق البؤر الباطنية بل تنحرف جانبياً في اتجاه حركة الموجة الاهتزازية. وتعتبر زلازل هذا الاقليم أشد الزلازل التي تصيب القشرة الأرضية خارج الحلقة النارية حول المحيط الهادى حيث أن بؤرها الباطنية عميقة قد تصل إلى ٨٠٠ كم ولذا فإن المراصد البعيدة في موسكو بل والبعيدة جداً في واشنطون تسجلها. ولأن هذا الاقليم جبلياً فإن الزلازل تؤدى إلى انهيارات صخرية ضخمة. ومن أبرز زلازل هذا الاقليم زلزال قره داغ عام ١٩٠٧ (٧,٤) وزلزال آسيا الوسطى عام ١٩٤٧ (٧,٤)، وزلزال آسام – التبيت عام ١٩٥٠ (٨,٦) وزلزال تيان شان عام ١٩٧٦ (٧,٩).

١٠- اقليم الهند - ايران - تركيا: ويشمل سلاسل جبال الهيمالايا وإيران وشمال العراق وتركيا. والبؤر الزلزالية الباطنية في هذا الاقليم متباينة العمق وغالبيتها قريب من سطح الأرض (٤ – ٧ – ١٢ كم) وبعضها متوسط العمق (٤٠ – ٥٠كم) والقليل عميق، ولذلك فإن التدمير الناجم يكون شديداً على الرغم من أن شدة الزلزال قد تكون عادية (٦,٣٠ – ٦,٥) ولكن ينجم التخريب الشديد عن قرب البؤرة الزلزالية الباطنية من السطح. وقد تم احصاء أكثر من ١٢ زلزال بلغت شدة كل واحد منها ٩,٠ في الفترة من عام ٣٥٠ إلى عام ١٩٨٥.

أما الزلازل المدمرة الأخرى مثل زلزال ايران عام ١٩٩٠ (٧,٥) وزلزال عشق أباد عام ١٩٤٨ (٧,٣)، فهى ذات شدة أقل وتتراوح بين ٧,٣ ، ٧,٨ .

١١- اقليم البلقان وحوض البحر المتوسط الشرقي: ويتضمن هذا الاقليم جزر أرخبيل بحر إيجه وجزيرة كريت وجنوب البحر المتوسط مصر وليبيا وتقع بؤرة الزلزالية الباطنية على عمق متوسط قدرة ١٠٠ كم ويعد حوض أو مقعر (جيوسينكلين) الكريات مركز الثقل للبؤر الزلزالية فى هذا الاقليم. ومن أبرز الزلازل هنا زلزال فيليكان عام ١٩٢٦ (٧,٧) وامتد تأثيره من روما شمالاً حتى الواحات المصرية جنوباً، زلزال القاهرة عام ١٧٥٤ (٧,١)، زلزال بعلبك عام ١٧٥٩ (٧,٠).

١٢- اقليم حوض البحر المتوسط الغربي: ويضم ايطاليا ومناطق واسعة من جنوب فرنسا وشبه جزيرة ايبريا وأقطار المغرب العربى الكبير. وتعد بؤرة جبل طارق الزلزالية الباطنية هى الأكثر عمقاً فى هذا الاقليم وتصل إلى ٦٤٠ كم ومثل هذا العمق الشديد لا يوجد إلا فى إطار الحلقة النارية حول المحيط الهادى. وغالبية البؤر الزلزالية الباطنية قريبة من سطح الأرض (بؤرة زلزال أغادير عام ١٩٦٠ على عمق ٣ – ٤ كم وبلغت شدته ٥,٧) لذا فإنها ذات قوة تدميرية كبيرة ومن أبرز زلازل هذا الاقليم زلزال كانتانيا عام ١٦٩٣ (٧,٥) وزلزال الابنين عام ١٧٠٣ (٧,٠) وزلزال ايطاليا عام ١٧٠٦ (٧,٥)، وزلزال الجزائر عام ١٧١٦ (٧,١)، وزلزال لشبونه عام ١٧٥٥ (٨,٣)، وزلزال كالابريا عام ١٧٨٣ (٨,٧)، زلزال كالابريا عام ١٨٣٨ (٦,٥)، زلزال ايطاليا عام ١٨٥١ (٦,٦)، زلزال مسينا عام ١٩٠٨ (٧,٥) وزلزال أوتيسانو عام ١٩١٥ (٧,٥).

أثر الزلازل في تشكيل سطح الأرض:

ينجم عن حدوث الزلازل تغيرات فى سطح الأرض، وتتجلى هذه التغيرات فى حدوث الشقوق والانهيارات والانزلاقات الصخرية . كما تنهار الصخور ضعيفة التماسك وتتكون السيول الطينية خاصة فى المناطق الجبلية، كما قد تظهر بعض التلال الرملية وتنبثق مياه الينابيع كما تختفى ينابيع أخرى، وترتفع بعض المناطق وتنخفض مناطق أخرى. وقد تظهر بعض الجزر فى البحار. وفيما يلى أهم التغيرات التى تحدث فى سطح الأرض بفعل الزلازل.

١- الشقوق: تعد الشقوق أكثر الظاهرات التى تحدث بسبب الزلازل، ويمكن ملاحظتها بدرجات مختلفة فى كل أنواع الزلازل. وقد تكون على شكل شقوق

دقيقة لا يتعدى طولها بضعة أمتار وعمقها بضعة سنتيمترات وقد تكون شقوق ضخمة تمتد كيلو مترات وتتسع لبضعة أمتار وتتعمق لبضع عشرات من الأمتار، وقد يتحرك جانباً الشق ليس فقط حركة افقية ليتشكل الاتساع بل قد تكون هناك حركة رأسية لأحد الجانبين إلى أعلى أو إلى أسفل بالنسبة للجانب الآخر وفيما بين الشقوق الدقيقة والشقوق الضخمة توجد مختلف الدرجات. وقد تظهر الشقوق منفردة وذات أطوال متباينة لا تزيد عادة عن ١٠ – ١٢ كم، ولكن قد يبلغ طول إحداها مسافة كبيرة مثل الشق الذى نتج عن زلزال منغوليا عام ١٩٥٧ ويبلغ طوله ٢٨٠ كم. ويتراوح اتساع الشق بين ٠,٥ و ١٥ متراً، كما يتراوح عمقه بين ٢ و ٢٠ متراً. وقد يندفع أحد جانبى الشق إلى أعلى ويتراوح فرق المنسوب بين الجانبين بين ٢، ٢٠ متراً، ولكن قد يبلغ فرق المنسوب مقداراً كبيراً كما فى شق منغوليا الذى أشرنا إليه سابقاً والذى بلغ نحو ٣٢٨ متراً. وقد تتباعد جانبى الشق فى أول الأمر لمسافة ثم يندفعان نحو بعضهما ملتحمان بقوة مما يؤدى إلى انصهار سطوح الاحتكاك وإلى تغير فى بعض خصائصها الصخرية.

وتظهر عادة الشقوق على شكل مجموعات تتخذ مظهراً ونظاماً معيناً، فقد تكون متوازية لبعضها البعض وأحياناً متقاطعة بزوايا معينة، وقد تتجمع فى شكل حلقى أو تكون شعاعية الشكل. وقد يؤدى تقاطع الشقوق إلى هبوط أجزاء من القشرة الأرضية مكونة حفراً انهدامية، ففى زلزال بحيرة بيكال عام ١٨٦٢ هبط جزء من الأرض المجاورة للبحيرة نتيجة لتقاطع شقان مساحته ١٠٠كم٢ إلى ما دون مستوى سطح المياه فتكون خليج بلغ عمقه ثمانية أمتار. كما قد تؤدى الشقوق المتوازية إلى ارتفاع جزء القشرة الأرضية بينهما إلى أعلى كما حدث فى زلزال شمال المكسيك عام ١٨٨٧ الذى أدى إلى ارتفاع سلسلة من التلال بين شقين متوازيين بلغ ارتفاعها ١٧م. وفى زلزال آسام عام ١٨٩٧ بلغ ارتفاع الأرض بين الشقين المتوازيين خمسة أمتار. وقد تهبط الأرض بين الشقين إلى أسفل وتتكون الأخاديد مثل نظام أخدود شرق أفريقيا. كما قد يندفع أحد جانبى الشق إلى أعلى مكوناً جرفاً شديد الانحدار، مثل زلزال آسيا الوسطى عام ١٩١١ فى حوض نهر آغ صو الذى أدى إلى ارتفاع جانب أحد الشقوق إلى أعلى على شكل جرف ارتفاعه ١٠م وبامتداد ١٥٠ كم.

٢-الانهيارات: تكثر حوادث الانهيارات الصخرية خاصة فى المناطق الجبلية، إذ تنهار أجزاء من الجبال مثل انهيار جزء من جبل كياباز فى سلسلة

جبال القوقاز عقب زلزال ١١٣٩، وانـهيار جزء من جبال البامير عقب زلزال ١٩١١ . وقـد تؤدى تلك الانـهـيـارات إلى تكون سدود صـخـرية تسد الأودية النهرية، فقد بلغ حجم الصخور المنهارة والمجروفة عـقب زلزال البامير نحـو ٥ مليون م٣ وكونت سداً صـخرياً في وادى بارتانج بلغ طوله ٥ كم وارتفاعه ٧٠٠م. كما تحدث انزلاقات وتدفقات طينية على شكل سيول طينية عنيفة تؤدى إلى غمر الأودية النهرية بسمك قد يصل أحياناً إلى ٤٠م كما حدث في زلزال هايت عام ١٩٤٩ بآسيا الوسطى الذى أدى إلى تكون سيل طينى بلغ سرعته ٦٠كم/ الساعة وغمر بعض الأودية بسمك ٤٠م وبامتداد ١٠ كم. ولكن عادة ما تكون حركة السيول الطينية الناجمة عن الزلازل بطيئة ولا تزيد سرعتها عن ١٠٠ - ٢٠٠م/ اليوم. وتزداد عمليات الانزلاق للمواد المفككة مثل الاترية ومفتتات الصخور، وأيضاً طبقات اللوس التى تبدو متماسكة ولكنها سرعان ما تتفكك وتتحول إلى غبار ناعم - حالتها الأصلية - عند اصابتها بهزة زلزالية عنيفة، ففى زلزال آلما آتا حدثت انزلاقات ترابية غطت مساحة ٤٠٠ كم٢ تقريباً. وفى زلزال الصين عام ١٩٢٠ أدت انهيارات اللوس إلى هلاك نحو ٢٠٠ ألف نسمة. كما تشهد مقدمات الأرصفة القارية المطلة على قيعان الأحواض المحيطية انزلاقات طينية تتحرك فوق المنحدر القارى بأبعاد تزيد كثيراً عن مثيلاتها فى القارات وقد تمتد إلى عشرات بل مئات الكيلو مترات تجاه قاع الحوض المحيطى.

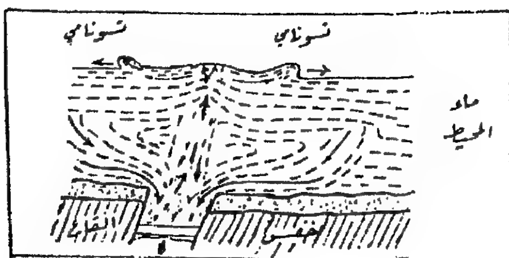
٣- الينابيع: كثيراً ما تتقاطع الشقوق الناجمة عن الزلازل مع مستوى الماء الباطنى فتتسرب المياه عبر الشقوق نحو سطح الأرض وتنبثق على شكل ينابيع ذات مياه عادية أو معدنية. وقد تخرج المياه بعنف من الشقوق فيرافقها خروج رمال وطين. ففى زلزال عام ١٩٢٦ ظهرت عيون حلوان المعدنية الجديدة. وقد تؤدى الزلازل إلى نضوب العيون واختفاء الينابيع. وعند خروج المياه بعنف حاملة معها الرمال تتكون تلال مخروطية الشكل منفردة أو فى مجموعة لها نظام معين يتفق مع منظومة الشقوق التى أدت إلى انبثاق المياه.

٤- ظهور الجزر وانخفاض قاع المحيط والأمواج التسونامية: يحدث أحياناً نتيجة للزلازل التى تضرب قاع المحيط أن ينخفض جزء من قاع المحيط مثل ما حدث فى قاع خليج ساجامى فى اليابان الذى هبط بمقدار ٣٠٠ - ٤٠٠م نتيجة زلزال عام ١٩٢٣ . وقد يحدث العكس إذ تتسبب الزلازل فى ارتفاع أجزاء من قيعان البحار وبروزها فوق سطح الماء على شكل جزر. ففى زلزال آسام عام

١٨٩٧ ظهرت العديد من الجزر الصغيرة في خليج البنغال بلغ طول احداها ١٥٠م وعرضها ٢٥م.

وعندما تتمركز البؤر الزلزالية فى قيعان البحار أو المحيطات وينشقق القاع تتكون موجات مائية هائلة فى المحيط تعرف بالتسونامى وهى لفظة يابانية تتكون من مقطعين تسو Tsu وتعنى ميناء ونامى Nami وتعنى موجه، ومن ثم تعنى التسونامى موجة الميناء أى الموجة التى تصيب الميناء بتخريب وأضرار هائلة. وتتكون موجة التسونامى نتيجة حدوث شق زلزالى وهبوط جزء من قاع المحيط إلى أسفل فتتحرك المياه نحو منطقة الهدم لتملؤها ثم تندفع نحو الأعلى فتنتفخ المياه بضع عشرات من السنتيمترات وغالباً ما تكون ٣٣ سم فتتشكل الموجة والذى يحدد سرعتها مقدار عمق المياه (شكل ٩٠). ويحدد السرعة القانون ($V = \sqrt{g\,D}$):

حيث V = السرعة م/ الثانية، g مقدار تسارع الجاذبية الأرضية وتساوى ٩,٨ سم/ث^{٢}، D عمق البحر والمحيط. فإذا كان عمق المحيط فوق البؤرة الزلزالية السطحية ٤٥٠٠ م فإن سرعة الموجة = $\sqrt{٩,٨ \times ٤٥٠٠}$ = $\sqrt{٤٤١٠٠}$ = ٢١٠م/ث أى = ٧٥٦كم/ الساعة وهى سرعة رهيبة. ففى زلزال تشيلى ١٩٦٠ وكانت بؤرته السطحية داخل المحيط الهادى على عمق ٣٩٦٧ م، نتج عنه موجة تسونامية بلغت سرعتها نحو ١٩٧,٢م/ث أى ٧١٠كم/ الساعة، وقد قطعت هذه الموجة المحيط الهادى ووصلت إلى جزر هاواى التى تقع على مسافة ١٠٦٠٠ كم خلال ١٤ ساعة و ٥٦ دقيقة، وصلت اليابان الواقعة على بعد ١٧٠٠٠ كم خلال ٢٣ ساعة و ٥٦,٦ دقيقة ونتج عنها تخريب هائل ليس فقط فى سواحل تشيلى القريبة ولكن فى هاواى واليابان. وعلى الرغم من أن ارتفاع الموجة ذات الطاقة الحركية العالية محدود داخل المحيط إلا أنها عند اقترابها من الشاطئ وتحركها فوق الرصيف القارى حيث يتناقص عمق المياه ومن ثم تتناقص سرعة الموجة التسونامية نتيجة احتكاكها بالقاع فيؤدى ذلك إلى اندفاع الطاقة المحركة للموجة إلى أعلى فتؤدى إلى تشكيل جدار مائى بارتفاع يصل إلى ٢٥ متراً أو أكثر. وإذا ما اندفعت تلك الموجة الجدارية فى الخلجان والمضائق والموانى يزداد ارتفاع المياه واندفاعها فتدمر وتخرب وتندفع داخل اليابس لمسافات بعيدة ثم تنسحب إلى البحر فى موجة جزر عاتية فتسحب معها حطام المنشآت العمرانية والمنازل والسفن والقوارب وجثث الناس.

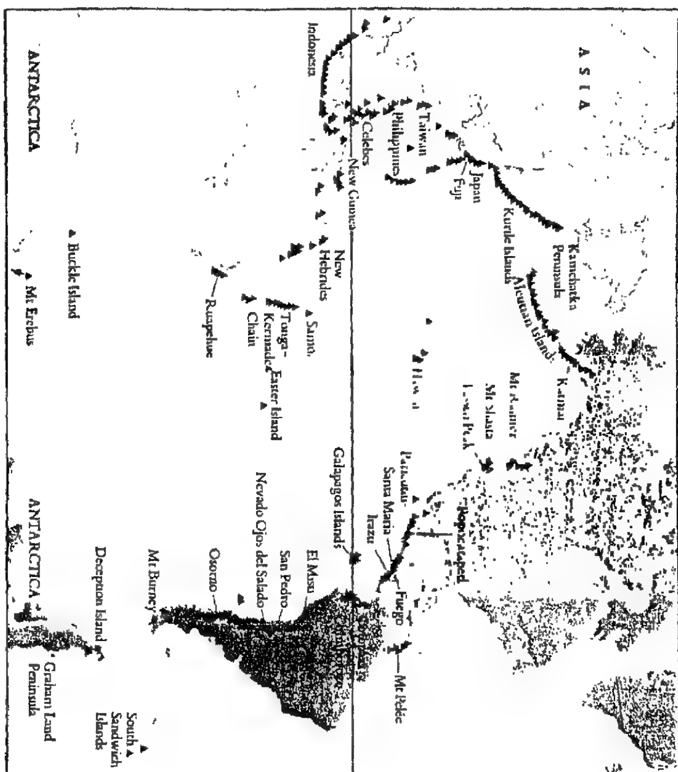


شكل رقم (٩٠)
تكون موجة التسونامي

٢-البراكين Volcanoes:

يشبه النشاط البركانى الزلازل حيث أن كليهما يصاحب مناطق الضعف فى القشرة الأرضية. ويدل على ذلك تطابق توزيع مناطق الزلازل مع توزيع مناطق البركين (شكل ٩١)، إذ يلاحظ تركز معظم البراكين في حزام الحلقة النارية حول المحيط الهادى، كما تظهر فى النطاق المتوسطى الأسيوى وأيضاً فى مناطق السلاسل المحيطة الوسطى.

يؤدى النشاط البركانى إلى تكوين ظاهرات تضاريسية مميزة تأخذ عادة شكل المخروط الذى يميز البركان النموذجي. ولكن الذى يحدد أشكال تلك الظاهرات طبيعة النشاط البركانى والطفوح الناجمة عنه. وعلى الرغم من أن الاندفاعات البركانية تكون أحيانا عنيفة إلا أنها فى أحيان أخرى تكون هادئة. وهناك عوامل تحدد طبيعة تلك الاندفاعات منها طبيعة تركيب الماجما ودرجة حرارتها وكمية الغازات المنحلة فيها. ويؤثر العاملان الأول والثانى – التركيب ودرجة الحرارة – فى درجة لزوجة الماجما أى قوام المادة الماجماتية. وترتبط اللزوجة بكمية السيلكا، فالماجما السيليكية التى ترتفع نسبة السيليكا فيها إلى أكثر من ٧٠٪ وتتميز باللون الفاتح والكثافة المنخفضة تكون ذات لزوجة عالية ولها قوام يشبه العجينة وتتحرك بسرعة بطيئة أى أنها أكثر مقاومة للجريان والانسياب فوق سطح الأرض، وينتج عنها عادة الاوبسيديان أو الريوليت . أما الماجما الفقيرة فى السيليكا والتى تحتوى على كمية سيليكا تقدر بحوالى ٥٠ ٪



شكل رقم (٩١)

توزيع البراكين في العالم

أ - توزيع البراكين في حزام الحلقة النارية حول المحيط الهادي



شكل رقم (٩١)

توزيع البراكين في العالم

ب- توزيع البراكين في المحيط الأطلسي

وأقل وتعرف بالماجما المافية وهى الغنية بمركبات الحديد والمغنسيوم وتتميز باللون الداكن والكثافة العالية وتشبه البازلت فإنها تكون ذات لزوجة منخفضة ولها قوام سائلي وتنساب على سطح الأرض بسرعات كبيرة تقترب من ١٠كم/الساعة. أما الماجما الوسيطة فإن كمية السيليكا بها حوالى ٦٠ ٪ ودرجة لزوجتها متوسطة ومن ثم فإن سرعة تحركها على سطح الأرض أيضاً متوسطة.

وتؤثر كمية درجة الحرارة المتجمعة فى باطن الأرض فى طبيعة المادة الماجماتية المندفعة من باطن الأرض فعندما تصل درجة الحرارة إلى نحو ١٠٠٠ درجة مئوية تنصهر الصخور الجرانيتية والفلسبارات المختلفة والكوارتز أى الصخور الغنية بالسيليكا. بينما تبدأ الصخور المافية الداكنة فى الانصهار عندما تصل درجة الحرارة إلى ١٢٠٠ درجة مئوية.

وتحتوى الماجما على كمية من الغازات المنحلة التى تكون محتجزة فى الصخر المنصهر بالضغط المحكم – كما هو الحال فى غاز ثانى اكسيد الكربون المحتجز فى المشروبات الغازية – وعندما يخف الضغط تبدأ الغازات فى الخروج. ومن الصعب تحديد كمية الغازات الموجودة أصلاً فى الصخور المنصهرة، ولكن يعتقد الدارسون أنها تتراوح بين ١ ٪ و ٥ ٪ من الحجم الكلى. وعلى الرغم من قلة هذه النسبة إلا أنه عند اندفاعها بقوة ينشأ عنها فرقعة عالية وتحدث تدمير فى الصخور التى فوق الجيب البركانى. وتتركب تلك الغازات من ٧٠٪ بخار ماء، ١٥ ٪ ثانى اكسيد الكبون، ٥ ٪ لكل من النيتروجين ومركبات الكبريت، والنسبة الباقية غازات الكلورين والهيدروجين والأورجون وغازات أخرى.

وعندما تقترب الماجما المافية (البازلتية) من سطح الأرض تتحرر الغازات المنحلة فيها وتخرج بسهولة دون اندفاع وينجم عن ذلك ثقوب تنتشر على سطح اللافا. وتعرف كتل اللافا البازلتية المتصلبة التى تحتوى على تلك الثقوب والتى تشبه الاسفنج باسم السكوريا Scoria، ولذلك لا يصاحب خروج مثل هذا النوع من اللافا اندفاع عنيف أو أصوات انفجار مدوية. أما الماجما السيليكية اللزجة فإن مركبها المعدنى (الأنديسايتى أو الريولايتى) لا يسمح إلا لقدر ضئيل من الغازات بالتحرر، ويؤدى ذلك إلى حدوث ضغط داخلى شديد ينجم عنه اندفاع عنيف. وتقوم تلك الغازات المندفعة بتفتيت الصخور فى منطقة الفوهة وتقذفها

بشدة إلى أعلى بعد تفاعلها مع المواد اللافية. وتعرف المفتتات الخشنة المنطلقة مع الغازات باسم بيروكلاست Pyroclastics، أما المفتتات صغيرة الحجم والتى فى حجم الحصى والحصباء فتعرف باسم الحصى البركانى Lapilli، أما المفتتات الناعمة فتعرف باسم الرماد البركانى Volcanic Ashes . وقد تتطاير أجزاء من الماجما اللزجة فى الجو وتبرد بسرعة وتأخذ شكل بيضاوى انسيابى له أطراف واضحة وتعرف باسم القنابل البركانية Volcanic bombs . وعندما يكون حجم الجزء المتطاير أكبر نسبياً يتشقق سطحه ويصبح على شكل رغيف الخبز المحمص Bread - Crust bombs.

وتنتشر المفتتات والغبار البركانى لمسافات بعيدة عن مصدرها، كما يظل الغبار الناعم معلقاً فى الجو لمدة طويلة. وينتج عن الغازات والرماد البركانى غيوم نارية Fiery clouds تعرف بالغيوم المتوهجة Nuee ardente وهى تتحرك بسرعة تصل إلى ١٦٠كم/الساعة، وتستطيع صهر قطع الزجاج عند تساقطها عليه. وقد حدث ذلك عند ثورة بركان بيليه Pelée عام ١٩٠٢، فقد تساقطت تلك الغيوم على مدينة سان بيير San pierre بجزيرة المارتنيك فى مجموعة جزر الانتيل الصغرى بالكاريبي وقتلت سكانها البالغ عددهم نحو ٢٨ ألف نسمة باستثناء شخص واحد وبعض الأشخاص كانوا على ظهر السفن فى الميناء.

أنواع الأجسام البركانية (البراكين):

تختلف أشكال الأجسام البركانية تبعاً لطبيعة الماجما المندفعة وتركيبها الكيميائى والمعدنى، وتبعاً لطبيعة المقذوفات البركانية. فقد تكثر اللافا المنبثقة من البركان وتصبح هى المادة البركانية السائدة، فى حين يعظم تطاير واندفاع المواد الحطامية المفتتة في بركان آخر. ويؤدى توالى خروج المواد والمقذوفات البركانية إلى تراكمها فى أشكال مختلفة هى :

(أ) المخاريط البركانية الصغيرة Embryonic Cones، وهى عبارة عن مخاريط بركانية محدودة الارتفاع ومحدودة أيضاً فى اتساع قاعدتها. وتوجد فى المناطق البركانية النشطة والتى تبدو على شكل حقل متسع تبرز على سطحه العام تلك المخاريط ا لصغيرة التى تستمد مادتها من جيوب بركانية صغيرة. ومن أبرز الأمثلة لهذا النوع منطقة شمال حوض صنعاء بالجمهورية العربية اليمنية، وهى منطقة سهلية متسعة ينتشر فيها هذا النوع من البراكين.

وهى إما مفردة أو مزدوجة يطلق عليها محلياً اسم النهدين أو على شكل مجموعة متقاربة، وفى حالة وجودها منفردة تتميز بارتفاعها الملحوظ.

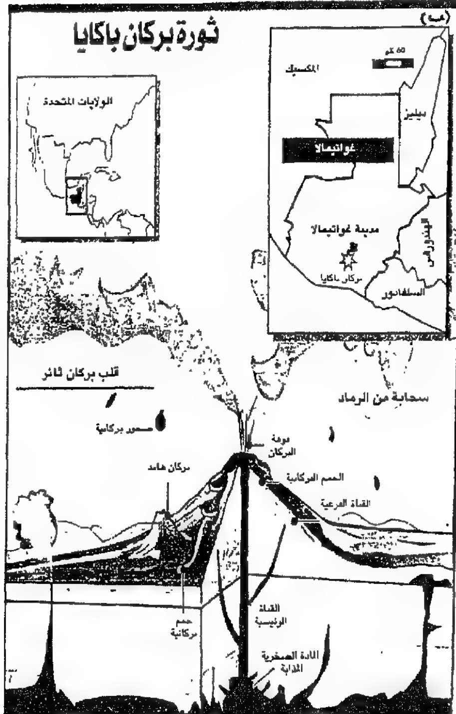
(ب) **مخاريط الرماد البركاني Cinder Cones**، تتكون تلك المخاريط كلية من مفتتات البيروكلاست وليس من مواد لافية. وتتميز بارتفاعها المحدود الذى لا يتعدى ٣٠٠م وبشدة انحدار جوانبها حيث تتراوح بين ٣٠°، ٤٠° (شكل ٩٢). ومن أمثلة هذا النوع من البراكين بركان مونت نوفو فى منطقة نابلى بإيطاليا وارتفاعه حوالى ١٤٠م، وبركان رابوال فى جزيرة بريطانيا الجديدة New Britain.

(جـ) **البراكين القبابية Volcanic Domes**، يشير الشكل القبابى لهذا النوع من البراكين إلى طبيعة الماجما المنبثقة فهى ماجما سيليكية عالية اللزوجة غليظة القوام، لذا فإن حركتها بطيئة، وعند اندفاعها وخروجها لا تبعد كثيراً عن فوهة المخرج ولذلك تتراكم فوق بعضها وتأخذ الشكل القبابى بصفة عامة. ويتكون من هذه اللافا صخور الأوبسيديان والداسايت والرايولايت. ومن أمثلة هذا النوع من البراكين بركان الليسّى فى جنوب شرق صنعاء إلى الشرق من مدينة ذمار. وقد أدى زلزال ذمار عام ١٩٨٣ إلى انهيار جزء من جانب هذا البركان فانكشف جزء من قصبته البيضاء الكوارتزية.

(د) **البراكين الدرعية Shield Volcanoes**، وتسمى أحياناً بالبراكين الهضبية أو الهضيبية حسب حجمها. وتتكون تلك البراكين عندما تكون اللافا بازلتية (مافية) ذات سيولة عالية، فتنساب على جوانب الفتحة أو الفتحات البركانية وتنتشر لمسافات بعيدة. وعند توالى خروج هذا النوع من اللافا تتكون هضبية واسعة الامتداد تطل بانحدار بطئ على الأرض المجاورة لها. ولا يزيد درجة انحدارها عند فتحات الخروج عن ١٠°، وتتراوح بين ٢° و ٥° عند مقدماتها. ومن الأمثلة الواضحة لهذا النوع براكين جزر هاواى وخاصة بركان ماونا لاوا Mauna Loa أكبر براكين الأرض وبراكين ماونا كيا Mauna Kea، كيلاوايا Kilauea، هالياكالا Haleakala، كاهولاوا kahoolawe، كاواى كينى Kawaikini وهى التى تكوّن جزر هاواى (شكل ٩٣). وتعدالانسيابات البركانية فى منطقة أرحب شمال شرق صنعاء مثال آخر لانسياب اللافا لمسافات بعيدة

(أ)





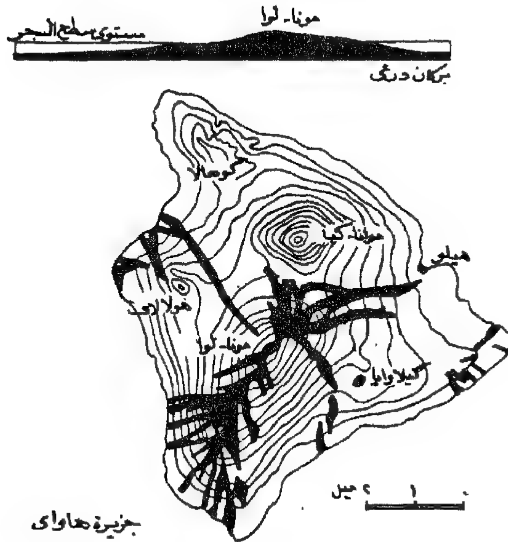
شكل رقم (٩٢)

المخاريط البركانية

أ- مخروط الرماد البركاني

ب- شكل تخطيطي يبين أجزاء البركان - نموذج بركان باكايا في جواتيمالا عند ثورته في ٣٠ يناير ٢٠٠٠٠م

وتغطى مساحات واسعة ومتخذة فى نفس الوقت من الأودية الجافة مسارات لها فملأتها بسمك يتراوح بين ٤، ٥م وتطل مقدمات تلك الانسيابات عند تصلبها على الأجزاء من القيعان الأصلية للأودية التى لم تصل إليها على شكل حوائط قائمة. أما فى المناطق المسطحة بين الأودية فقد تشكلت السنة طولية على شكل هضيبات ذات امتداد طولى ملحوظ.

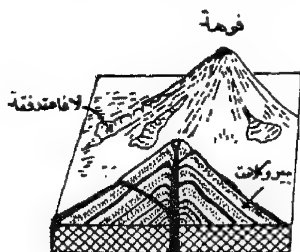


شكل رقم (٩٣)

براكين جزيرة هاواي - نموذج للبراكين الدرعية

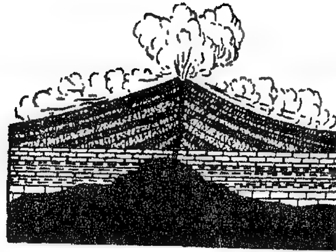
(هـ) البراكين المركبة Composite Volcanoes، وتعرف أيضاً بالبراكين التراكمية أو الطباقية Strato - Volcanoes. ويتألف هذا النوع من طبقات متعاقبة من اللافا المتدفقة ومفتتات البيروكلاست. كما قد تنطلق اللافا البركانية من جوانب المخروط الرئيسى عبر منافذ جانبية فتتكون مخاريط جانبية على

منحدرات المخروط الأصلى. ونتيجة لتعدد نشاط البركان على فترات مختلفة، يلاحظ تنوع فى المواد اللافية. وتعمل اللافا البازلتية على توسيع قاعدة الجسم البركانى، بينما تؤدى اللافا السيليكية إلى تراكم وتقبب وارتفاع الفوهة الرئيسية والمخارج الجانبية (شكل ٩٤). ومن أمثلة هذا النوع من البراكين بركان فيزوف بايطاليا وفوجى ياما باليابان، وبراكين جبال رينيه و هود و شاستا فى سلسلة الكاسكيد بغرب الولايات المتحدة الأمريكية، وبركان إيزالكو Izalco إلى الغرب من سان سلفادور فى أمريكا الوسطى.



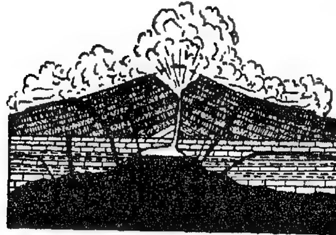
شكل رقم (٩٤)
مخروط بركاني مركب

وتتكون قمة معظم البراكين من حوض منخفض شديد انحدار الجوانب يعرف باسم الفوهة Crater، وتتصل هذه الفوهة بخزان الماجما عن طريق قناة رأسية تشبه الأنبوب تصرف الماجما للخارج تعرف باسم المدخنة أو القصبة Vent. ويمكن أن تتواجد فى البراكين المركبة أكثر من فوهة أو مخرج، وتتميز المخارج الجانبية أو الثانوية بأن قصبتها تكون مائلة وأحياناً أفقية ويتراكم حولها مخاريط صغيرة Parasitic Cones. وكثيراً ما تتعرض فوهات البراكين إلى عملية تساقط لجوانبها يؤدى إلى اتساعها وتعرف تلك الفوهات الواسعة باسم كالديرا Caldera (شكل ٩٥). وقد تمتلئ تلك الفوهات بالمياه فتصبح على شكل بحيرات مثل بحيرة أوريجون وتعرف أيضاً باسم بحيرة كراتر Crater lake إلى الغرب من جبل سكوت فى ولاية أوريجون بالولايات المتحدة الأمريكية. وبحيرة توبا Toba فى شمال غرب جزيرة سومطره بإندونيسيا، وبحيرة اسو Aso فى اليابان. وقد يعاود البركان نشاطه مرة أخرى ولكن بقوة اندفاع أقل فلا



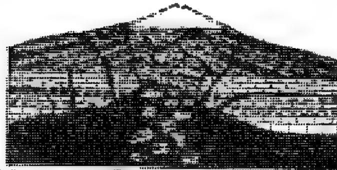
(١)

السحب النارية والغبار البركاني عند بداية الثوران البركاني .



(٢)

مع استمرار الثوران تتفرغ قمة المخروط البركاني جزئيا ، وتعمل تدفقات اللافا على تصريف خزان الماجما .



(٣)

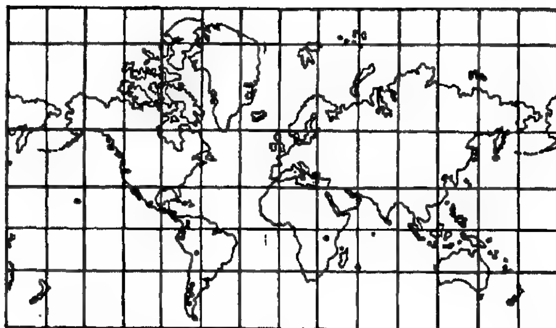
بينما ينهار قسم كبير من المخروط البركاني داخل خزان الماجما لتتكون فوهة واسعة تعرف بـ (كالديرا)

شكل رقم (٩٥)
مراحل تكون الكالديرا

يستطيع تفجير القصبة كلها ولا تخرج اللافا من كامل فوهته الواسعة بل من مخروج أقل اتساعاً فتنشأ قمة مخروطية صغيرة ترتفع من قاع البحيرة على شكل جزيرة مثل جزيرة ويزارد Wezard ببحيرة أوريجون البركانية. وفي بعض البراكين تتصاعد الأبخرة والغازات المشبعة بالكبريت من شقوق في قاع البحيرة شبه الجافة والتي تغطيها طبقة من الطين البركاني أو من شقوق في قاع الفوهة الجافة وتترسب بللورات من الكبريت الأصفر على جوانبها كما في فوهة بركان الليسّى باليمن.

توزيع البراكين في العالم :

تتوزع البراكين على سطح الأرض في نطاقين رئيسيين هما: نطاق الحلقة النارية حول المحيط الهادي وبها حوالي ٦٠٪ من عدد البراكين النشطة في العالم. ونطاق البحر المتوسط ووسط وجنوب وجنوب شرق آسيا من جزر الآزور وكناري غرباً حتى جزر سومطره وجاوه وبالي وتيمور حتى تلتقي مع نطاق الحلقة النارية شرقاً في جزيرة غينيا الجديدة. ويتفرع من هذا النطاق ذراع ثانوي على طول امتداد الاخدود الأفريقي العظيم ويتضمن براكين جنوب غرب شبه الجزيرة العربية النشطة (شكل ٩٦).



شكل رقم (٩٦)
توزيع البراكين النشطة في العالم

وهناك مناطق بركانية ثانوية فى المحيط الهادى مثل جزر هاواى وجزر جالا باجوس وجزر جوان فرنانديز، وفى المحيط الأطلسى مثل براكين جزر البحر الكاريبى وجزيرة أيسلند.

أثر البراكين والظاهرات التضاريسية الناجمة عنها :

١- الرماد والحصى والحصباء البركاني: يؤدى انفجار البركان إلى تكسر وتفتت الصخور التى كانت تسد القصبة وإلى اندفاع تلك المفتتات فى الجو إلى مئات الأمتار ثم تتساقط فى منطقة البركان على شكل قطع صخرية مختلفة الأشكال والأحجام ويتميز معظمها بأنها ذات زوايا حادة وينشأ عنها ما يعرف بالبريشيا البركانية Volcanic Breccia . ويندفع بعد خروج تلك البريشيا الحصى والحصباء البركانية وهى عبارة عن حبيبات يتراوح قطرها بين ٠,٢٥ ملليمتر، و٥ ملليمتر وتتميز بأنها مستديرة وذات شكل كرّى، وتنتشر وتتراكم فى مساحات واسعة ويتكون منها طبقة سميكة تكسو سطح الأرض. كما يندفع الغبار الرمادى الذى يبلغ قطر حبيباته أقل من ٠,٥ ملليمتر وقد يصل إلى حجم الغبار الدقيق، ونظراً لخفته فإنه يرتفع إلى علو كبير فى الجو ثم يتساقط بعد فترة من تساقط الحصباء البركانية. وقد تحدث أمطار غزيرة فى منطقة البركان وتختلط عند سقوطها بالغبار فتتحول إلى أمطار طينية. وبذلك نرى فى منطقة البركان ترتيب ترسيبى شبه منتظم تبعاً لحجم المفتتات فالبريشيا البركانية من أسفل ويعلوها الحصى البركانى شبه الكروى ثم الحصباء البركانية ذات الشكل شبه الكروى أيضاً ثم المفتتات فى حجم الرمل ومن أعلى الغبار الناعم. ويلاحظ أن اللون الغالب فى هذه الرواسب هو اللون الرمادى والرمادى الداكن المائل للسواد. وقد تترسب تلك المفتتات بسمك كبير فى المناطق ذات النشاط الزلزالى عندما تعاود البراكين نشاطها مثل منطقة شمال صنعاء باليمن ويتكون منها محاجز ضخمة يستخرج منها الأهالى الرمل والحصى بمختلف درجاته لأغراض البناء، وأيضاً استخدامه لصناعة قوالب الطوب، أما المواد الأكثر خشونة فتستخدم فى تعبيد ورصف الطرق. وتنتشر تلك المحاجر على طول الطريق من صنعاء إلى مدينة عمران شمالاً، ومن صنعاء إلى مدينة ذمار جنوباً.

وتتميز تلك الرواسب البركانية بعظم مساميتها مما يجعلها تحتفظ بالمياه الساقطة عليها أو السطحية المتحركة فوقها مما يجعلها مصدر مهم من مصادر

المياه الجوفية في أوقات الجفاف. ولكن عند تداخل الغبار البركاني الدقيق وأى مواد أخرى وعملت كمادة لاحمة فإن السطح يغطيه طبقة من الرواسب المتماسكة الصلصالية لا تساعد على تسرب المياه.

٢- **الطين البركاني:** تنطلق من البراكين عن انفجارها غازات متنوعة أهمها بخار الماء مصدره الماء المحتجز في صخور باطن الأرض منذ النشأة الأولى، أو يكون مصدره مياه البحار أو المياه السطحية التي استطاعت أن تتسرب إلى أعماق بعيدة. كما قد يتكون بخار الماء عندما يمتزج غاز الهيدروجين المندفع من البركان والذى كان واقعاً تحت ضغط شديد مع أوكسيجين الهواء. ويتكاثف بخار الماء وتتساقط الأمطار، ولذلك فإن ثوران البراكين يصحبه غالباً انهمار الأمطار بغزارة شديدة فوق منطقة البركان. وتساعد هذه الأمطار على ارساب كميات ضخمة من الرماد والغبار البركاني، وعندما تمتزج بهذا الغبار تتكون الأمطار الطينية التي تنحدر إلى أسفل وتجرف معها وتختلط بها كميات من الغبار والمواد الخشنة الأخرى المتساقطة على سطح الأرض فتتكون سيول طينية بركانية أو انسيابات طينية زاحفة تعرف باسم لاهار Lahars، وعندما تستقر وتتماسك تعطى رواسب ركامية غير طباقية تتألف من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم والنوع.

٣- **غطاءات اللافا:** وهى عبارة عن هضاب متسعة تتكون من اللافا البازلتية (المافية)التى تخرج من شقوق القشرة ا لأرضية على شكل انسيابات هادئة وتنتشر في مساحات واسعة. وقد يصل سمك الغطاء اللافى بضعة أمتار. ويتكرار خروج تلك اللافا البازلتية وتراكمها فوق بعضها البعض على شكل طبقات متتالية يصل سمك الغطاء اللافى إلى أكثر من ١٠٠٠م. ومن أمثلة تلك الغطاءات الفرشات البازلتية في غرب شبه الجزيرة العربية والمعروفة باسم الحرات مثل حرار: الحرة – الرحا – العويرض – خيبر – الهرمة – رهط – قشب – نواصيف والبقوم – برك – اليمن. والغطاءات اللافية فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية والتى تشغل مساحات واسعة من ولايات واشنطون وأوريجون وايداهو ونيفادا، والغطاءات اللافية فى شمال غرب هضبة الدكن، والغطاءات اللافية في شمال شرق جزيرة ايرلند. وأيضاً الهضاب البركانية فى شرق أفريقيا ومن أبرزها الهضبة الحبشية، وهضبة بارانا فى جنوب البرازيل.

٣- الينابيع والنافورات الحارة Hot Springs & Geysers:

يرتبط بعمليات البركنة والنشاط البركانى ظاهرات جغرافية محدودة الانتشار هى المداخن Formaroles والينابيع الحارة والنافورات. وترجع تلك الظاهرات إلى تسرب المياه السطحية أو البحرية عبر الشقوق إلى باطن وتجمعها فوق صخور نارية ساخنة. وتعمل هذه المياه المتسربة على إذابة بعض المعادن في الصخور خلال رحلتها نحو باطن الأرض ويساعدها فى ذلك ارتفاع درجة حرارتها كلما توغلت أكثر نحو الباطن. وقد ترجع تلك المياه إلى الأصل المجماتى أى المياه الأولية المختزنة فى الأجسام النارية، وتحتوى تلك المياه على بعض المعادن النادرة مثل معدن الأرسينو بيرايت Arsenopyriteومعدن البورنايت Bornite. وأياً كان مصدر المياه فإنها تسخن وتندفع من باطن الأرض إلى أعلى بفعل قوة الضغط الهيدروستاتيكى عبر الشقوق مكونة نماذج متعددة من تلك الظاهرات.

(أ) **المدخنة:** وهى انبثاق الأبخرة والغازات من الشقوق دون خروج مياه ساخنة. وتتألف تلك الغازات عادة من ثانى اكسيد الكربون والهيدروجين وقليل من الكلورين والميثان. وأصل تلك الأبخرة هو اندفاع المياه الجوفية الساخنة من أعماق بعيدة نحو السطح، ونتيجة لقلة كميتها أو ضعف قوة الضغط الهيدروستاتيكى اللازم لخروجها فإن هذه المياه تتحول إلى غازات تندفع عبر فتحات الشقوق إلى الجو مكونة المداخن.

(ب) **الينابيع الحارة:** عبارة عن مياه جوفية ذات درجة حرارة مرتفعة تندفع من باطن الأرض باستمرار أو على فترات متقطعة. وتحتوى تلك المياه على نسبة مرتفعة من الأملاح المعدنية والمواد الكبريتية والجيرية والسليكية. وتترسب تلك المواد حول وبجوار فوهات ومخارج تلك الينابيع بعد تبخر المياه. ومن أمثلة الينابيع الحارة ينابيع ماموث Mammoth Hot Springs بمنطقة يللوستون بارك Yellowstone Park بولاية وايومنج الأمريكية، وينابيع الصودا Soda Springs وينابيع اللافا الساخنة Lava Hot Springs بولاية أيداهو، وكذلك ينابيع منطقة الينابيع الحارة Warm Springs بولاية أوريجون.

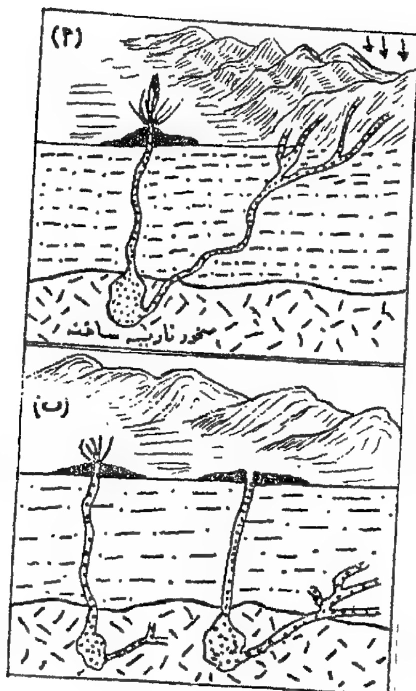
(جـ) **النافورات الحارة:** تشبه الينابيع الحارة من حيث ارتفاع درجة حرارة مياهها واحتوائها على الأملاح المعدنية خاصة الأملاح الجيرية والسليكية. وتختلف عن الينابيع الحارة فى أن المياه تندفع منها على شكل نافورة يتراوح

ارتفاعها من بضعة أمتار إلى ٦٠ – ٧٠ متراً. وتنبثق المياه الحارة إما بصورة مستمرة أو بصورة متقطعة منتظمة كل بضعة دقائق أو بضعة ساعات أو بضعة أيام أو أسابيع. ويرجع السبب فى عدم اندفاع المياه بصورة مستمرة إلى الفترة الزمنية اللازمة لتجميع المياه في خزان النافورة الجوفى وفى قصبتها، ثم الوقت اللازم لارتفاع درجة حرارتها تحت تأثير ملامستها للصخور الساخنة والوصول إلى درجة الغليان (١٠٠°م) حتى تتحول إلى بخار فى القصبة. ويعمل بخار الماء على زيادة الضغط الهيدروستاتيكى الذى يدفع المياه إلى أعلى خلال القصبة ويتم تفريغ الخزان أو القصبة فتهدأ فترة ثوران النافورة إلى حين تجمع المياه فى الخزان والقصبة وترتفع درجة حرارتها كى تعاود ثورانها مرة أخرى. وقد يعود السبب فى عدم خروج المياه من النافورة بصورة مستمرة إلى علاقة منسوب فوهة النافورة بمنسوب مصدر مياهها، فإذا كان منسوب الفوهة أعلى من منسوب المصدر تصبح قصبة النافورة خالية من المياه وتنبثق المياه الجوفية عندما تتفاعل كمية المياه بالخزان مع الصخور الساخنة وتتكون كميات عظيمة من الأبخرة والغازات التى تعمل على ازدياد قوة الضغط الهيدروستاتيكى فتبدأ المياه فى الاندفاع إلى أعلى وتبدأ دورة ثوران. أما إذا كان منسوب فوهة النافورة أقل من منسوب مصدر مياهها فإن ذلك يساعد على استمرار اندفاع المياه.

وفى بعض الحالات قد تندفع المياه الساخنة خلال قصبة النافوة ثم تتحول إلى أبخرة وغازات نتيجة انخفاض قوة الضغط الهيدروستاتيكى فيصبح عمود النافورة عبارة عن عمود من البخار مثل نافورة Old Fathful فى منطقة يللوستون بارك حيث تتحول كمية من الميه تبلغ نحو ٣٠٠٠ برميل إلى أبخرة وغازات فى حوالى أربع دقائق. وبذلك لا تستطيع المياه أن تكمل اندفاعها إلى أعلى وتخرج من فوهة النافورة، ولكن كل نحو ساعة تتجمع بعض المياه الفائضة من عملية التبخير فتندفع إلى أعلى لبضعة دقائق ثم ينقطع انبثاقها حتى تتجمع كمية مياه فائضة أخرى لتعاود دورتها وهكذا.

توزيع النافورات والينابيع الحارة فى العالم:

تتوزع الينابيع والنافورات الحارة فى بقاع متفرقة من العالم فى الاسكا ومناطق النافورات الحارة فى أمريكا الشمالية والتى من أعظمها منطقة يللوستون بارك، وفى فنزويلا وجبال الانديز وبتاجونيا فى أمريكا الجنوبية، وفى هضبة التبت وفى بقاع متناثرة فى سيبريا فى قارة آسيا، وفى جزر الازور وجزيرة أيسلند بالمحيط الأطلسى (شكل ٩٧).



أ- نافورات حارة دائمة الانبثاق.

ب- نافورات حارة متقطعة الانبثاق. (عن أبو العينين)

شكل رقم (٩٧)

توزيع النافورات الحارة في العالم

دكتور
احمد احمد مصطفى

الفصل السادس
القوى الخارجية المشكلة لسطح القشرة الأرضية والظاهرات الناجمة عنها

- التجـويـة :

أولاً : التجوية الميكانيكية.

ثانيـاً : التجوية الكيميائية.

- التعـريـة :

أولاً : تعرية المياه الجارية (الأنهار) والظاهرات المرتبطة بها.

ثانيـاً : التعرية البحرية والظاهرات المرتبطة بها.

ثالثـاً : تعرية المياه الباطنية (الطبوغرافيا «أشكال سطح الأرض» الكارستية).

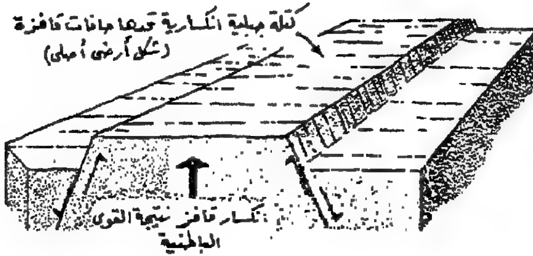
رابعـاً : تعرية الثلاجات والأنهار الجليدية والظاهرات المرتبطة بها.

خامساً : التعرية في المناطق الجافة والظاهرات المرتبطة بها.

الفصل السادس

القوى الخارجية المشكلة لسطح القشرة الأرضية والظاهرات الناتجة عنها

تنقسم أشكال سطح الأرض إلى قسمين كبيرين: القسم الأول الأشكال الأصلية Initial Landforms التى أوجدتها الحركات التكتونية وقوى النشاط البركانى الباطنية (شكل ٩٨)، والقسم الثانى الأشكال التى أوجدتها قوى تأثير



شكل (٩٨)

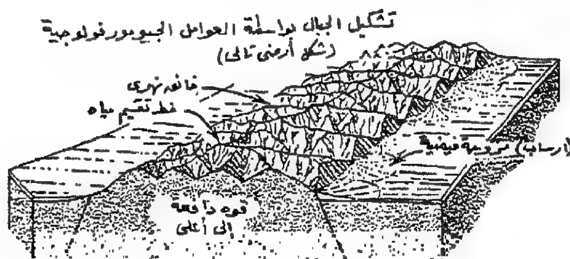
شكل سطح أرضي أصلي أنشأته الحركات التكتونية

(حركة انكسارية أدت إلي ظهور كتلة مسطحة القمة تحدها حافات قافزة)

الغلاف الغازى والغلاف المائى والغلاف الحيوى على الغلاف الصخرى، وتمثل هذه القوى تأثير الطاقة الشمسية التى تعمل من خلالها. وحيث أن هذه الأشكال نشأت بعد نشأة الأشكال الأصلية فإنها تعرف بالأشكال التالية أو التابعة Sequential Landforms (شكل ٩٩).

وأى شكل أرضى ليس إلا مرحلة فى تطور ضخم، فالقوى الباطنية ترفع وتخفض من حين لآخر أجزاء من القشرة وبذلك تتواجد الأشكال الأرضية الأصلية التى تعمل فيها العوامل الخارجية بالنحت والتعرية وتصنع منها أشكالاً أرضية تالية عديدة، وتنقل نواتج النحت والتعرية وتترسب ليتشكل منها أيضاً

أشكالاً أرضية تالية عديدة وهكذا. فأينما توجد الكتل الجبلية الوعرة فهذا دليل على نشاط القوى الباطنية حتى وقت قريب، وتشير السهول المنبسطة والمتموجة على سيطرة قوى النحت والإرساب، وما بين الجبل والسهل توجد أشكالاً انتقالية كثيرة. ولأن القوى الباطنية تعمل باستمرار وتكرر نشاطها فإن كتل المرتفعات تظهر على السطح وتعمل فيها عوامل التعرية والنقل والإرساب حتى تختفي تضاريسها ثم تتبعث الكتل مرة أخرى وهكذا.

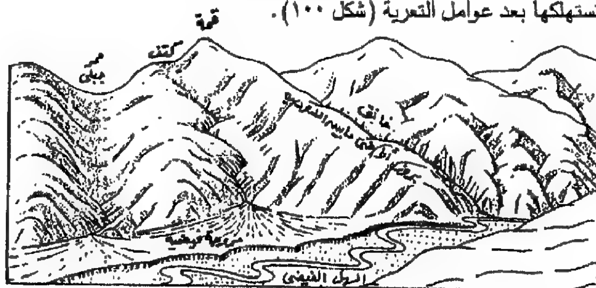


شكل (٩٩)

شكل سطح أرضي تالي انشأته العوامل الجيومورفولوجية (نحت وتأكل القمة الجبلية المسطحة ونشأة أودية نهرية وخوانق وخطوط تقسيم مياه ودالات ارسابية)

وتنشأ أشكال الأرض التالية نتيجة عامل أو أكثر من عوامل التعرية والارساب وهي المجاري المائية والأمواج والتيارات البحرية والجليد والرياح والمياه المتسربة عبر الشقوق والفواصل الصخرية نحو باطن الأرض. ويساعدها في ذلك نتاج عوامل تفتت الصخر وتحلله وانهياره وتحركه على السفوح وانزلاق التربة بفعل قوى الجاذبية الأرضية. وتسمى مجموع تلك العمليات التي تعمل على تشكيل السطح الأصلي وتكون أشكالاً أرضية تالية بعوامل التعرية Denudation. ولا يوجد جزء من سطح الأرض بمنأى عن عوامل التعرية والهدم التي تعمل لهدف واحد هو تخفيض سطح الأرض حتى يصبح سهلاً منخفضاً لا يلبث أن تطغى عليه مياه البحر. ويلاحظ أن نواتج التعرية والازالة والنقل تحف بهوامش القارات على شكل ارسابات مختلفة تعرف بارسابات الرصيف القاري، ونلاحظها أيضاً فوق قاع البحر والمحيط.

وعوامل التعرية والنقل والارساب بطيئة جداً وتستغرق ملايين السنين لتشكيل سطح الأشكال الأرضية الأصلية، ولكن الزمن الجيولوجي طويل جداً أيضاً. فمنذ أن نشأت القشرة الأرضية ونشأ فوقها الغلاف الجوى فإن هذا يعنى أن عوامل التعرية على سطح الأرض قديمة قدم القشرة الأرضية. وأشكال سطح الأرض الناتجة عن تلك العوامل إما أن تكون ظاهرات نحت Erosional Features مثل الأودية النهرية التى حفرتها المجارى المائية التى تجرى فى قيعانها لتحل محل الصخور التى أزالتها تلك المجارى، والحافات البحرية والكهوف البحرية التى شكلتها الأمواج والتيارات البحرية، أو ظاهرات إرساب Depositional Features مثل السهول الفيضية والدلتاوات والحواجز البحرية والأقواس البحرية، أو ظاهرات متبقية Residual Features مثل الحافات والأراضى المرتفعة والتلال التى تفصل الأودية النهرية بعضها عن بعض والتى لم تستهلكها بعد عوامل التعرية (شكل ١٠٠).



شكل (١٠٠)

أشكال سطح الأرض الناتجة عن العوامل الجيومورفولوجية، ظاهرات نحت (الأودية ...) ظاهرات أرساب (سهول فيضية....) ظاهرات متبقية (خطوط تقسيم المياة ...)

وتتهيأ المادة الصخرية لعوامل التعرية والنقل والارساب عن طريق عدة عمليات تؤدى إلى تفكك الصخر وتحلله بسبب تعرضه للغلاف الجوى، فتتكسر الكتل الصخرية إلى فتات دقيق، وتتحلل المعادن التى تتكون منها الصخور فتتغطى الأجسام الصخرية المتماسكة الصلبة بغشاء من الصخور المتفسخة المحطمة. وتؤدى هذه العمليات إلى تهيئة المادة الصخرية كى تنقلها عوامل التعرية السطحية المختلفة. وحيث تخضع كل المواد لقانون الجاذبية الأرضية فإن كل متكسرات ومفتتات الصخر الأصلى تنزلق وتتدحرج وتزحف نحو أسافل

المنحدرات حيث تستقر فى أشكال مختلفة حيث تقوم عوامل التعرية بازالتها بالتدريج وحملها إلى أبعد من مكان استقرارها فتتعرى المنحدرات الأرضية. وتصبح تلك المفتتات والمتحللات معاول وأسلحة لعوامل التعرية حيث تحملها معها وتحطم بها الصخور وتحفر وتشكل بها الأشكال الأرضية المختلفة.

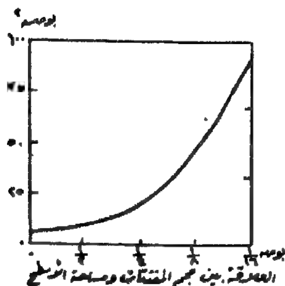
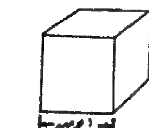
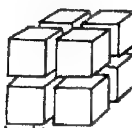
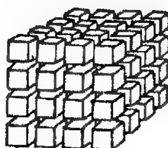
مما سبق يمكن تصنيف العمليات التى تمارسها القوى الخارجية إلى مجموعتين رئيسيتين: الأولى عمليات التجوية Weathering التى تفتت وتحلل المادة الصخرية وتهيأها لعوامل التعرية، والثانية عمليات التعرية Erosion وما يتبعها من نقل Transportation وإرساب Deposition.

التجوية Weathering

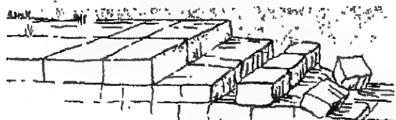
تتمثل التجوية فى العمليات التى تصيب الصخر وتؤدى إلى تفككه وتفتته وتحلله، وهى خليط من عمليات الهدم والبناء. وتنقسم التجوية إلى قسمين رئيسيين هما: التجوية الفيزيائية أو الميكانيكية plysical or Mechanical Weathering، والتجوية الكيميائية Chemical Weathering. ومن الصعب التفرقة بين ما هو فيزيائي وما هو كيميائى حيث أن عمليات التجوية شديدة التعقيد ولا تعمل عملية منها منفردة ومنفصلة عن العمليات الأخرى. فالصخور تتكسر إلى أحجام أصغر فأصغر إلى أن تصل فى النهاية إلى البللورات المعدنية التى تتكون منها أو إلى مفتتات صغيرة. وتتعرض فى نفس الوقت قطع الصخور وبللورات المعادن لهجوم قوى التجوية الكيميائية التى تغير معادنها إلى معادن جديدة نتيجة لتغيرات كيميائية طفيفة أو لتغيرا كيميائية كاملة. ويصحب هذه التغيرات نقص مستمر فى حجم الحبيبات نتيجة لإطلاق المكونات الذائبة التى يتعرض معظمها للفقد فى المياه السطحية أو المتسربة نحو باطن الأرض.

أولاً: التجوية الميكانيكية:

وتعرف بالتجوية الفيزيائية وينجم عنها تفتت الصخر، وتعد الفواصل والشقوق فى الصخور مناطق ضعف تشجع وسائل التجوية الميكانيكية على تفتيت الصخور التى تزيد بدورها من عمل التجوية بنوعيها نتيجة لتزايد مساحة سطح الصخر المعرض للغلاف الغازى. وتتم عملية التجوية الميكانيكية بوسائل عديدة: (شكل ١٠١).







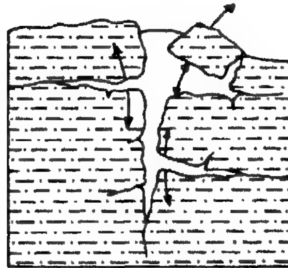
شكل (١٠١أ)

أ- الشكل العلوي: يؤدي زيادة مساحة الأسطح الصخرية نتيجة عمليات التفكك الميكانيكي إلي تيسير عمليات التحلل الكيميائي









شكل (١٠١ ب)

ب- الشكل السفلي: عمليات التفكك الميكانيكي المختلفة

ب- ١ : تحول الكتل الصخرية إلى الشكل البيضاوي نتيجة عمليات التفكك والتحلل الصخري.

ب-٢: التفكك والتحلل النسبي للكتل الجرانيتية ذات النسيج البللوري الخشن في المناطق الجافة.

ب-٣: تحلل الكتل الصخرية على طول امتداد الشقوق والفواصل المتقاطعة وظهور الكتل العليا على شكل جلاميد صخرية بيضاوية الشكل.

ب-٤: تجمد المياة المتسربة خلال الشقوق والفواصل وزيادة حجمها يولد قوة كبيرة تحطم الصخور.

١- تمدد الصخر وبللوراته المعدنية وانكماشه نتيجة اختلافات درجة الحرارة، خاصة في الأقاليم الحارة الجافة حيث يصل المدى الحراري اليومي إلى ٣٠° وأكثر. وينجم عن ارتفاع درجة الحرارة تسخين الصخور وتمددها وعند انخفاضها تبرد الصخور وتنكمش، وحيث أن الصخر يتكون من معادن تختلف في معامل تمددها، فإن كل تغير في درجة الحرارة ينتج عنه اختلاف في قوى الضغط يترتب عليه في النهاية تفتت الصخر وتكسره وانفصال بللوراته المعدنية بعضها عن بعض.

وحيث أن الصخر رديء التوصيل لدرجة الحرارة، لذا فإن حرارة السطح الخارجي للصخر تختلف عن الأجزاء الداخلية، وتسبب هذه الاختلافات حدوث ضغوط جانبية ينتج عنها بمضي الوقت انفصال الأجزاء السطحية عن الكتلة الأصلية وتعرف هذه العملية بالتقشر والتي يزيد من سرعتها في بعض الأوقات تجمد قطرات الماء الموجودة.

كما تتمدد الصخور نتيجة إزالة ما عليها من رواسب وصخور مما يؤدي إلى قلة وتخفيف الحمل عليها فتتمدد وتحدث بها شقوق تكون موازية تقريباً لسطح الأرض أي أنها شقوق في القشرة الخارجية وليست تصدعاً رأسياً في الجسم الصخري الكبير. ومن خصائص تلك الشقوق أنها تكون متقاربة جداً لبعضها البعض حيث تبلغ المسافة بينها بضعة سنتيمترات، ونتيجة لذلك تحدث عملية التقشر للطبقة السطحية للصخور، أي تنفصل أجزاء كبيرة من الكتلة الصخرية الأصلية. وينتج عن ذلك ما يسمى بالبنية الغطائية Sheet Structure.

٢- عمليات تجمد المياه في الشقوق والنمو البللوري داخل الشقوق: يؤدي الانخفاض الشديد في درجة الحرارة إلى درجة التجمد إلى تجمد المياه المتسربة داخل الشقوق وأيضاً قطيرات المياه داخل مسام الطبقة السطحية للصخر وتتحول المياه إلى بللورات ثلجية يبلغ حجمها أكبر من حجم المياه. وتقدر قوة الضغط التي تنشأ عن تجمد الماء بنحو ١٦٠ طن للقدم المربع ويساوي هذا الضغط ١٤٢ ضغط جوي يستحيل معه مقاومته فهو يوسع الشقوق ويزحزح حبيبات الصخر عن بعضها البعض فتتسع المسام ويتكسر الصخر إلى حبيبات صغيرة ذات أحجام مختلفة رملية وحصوية. ومما يزيد من عظم وقوة تلك العملية تعاقب عمليات التجمد والذوبان للمياه داخل الشقوق والمسام.

ويؤدى الجفاف الطويل في المناطق الجافة إلى صعود المياه الجوفية إلى السطح بفعل الخاصة الشعرية ويتغلغل داخل مسام الطبقة السطحية للصخر خاصة في الصخور الرملية وقد يكون هذا الماء الجوفي به أملاح ذائبة، وعند انخفاض درجة الحرارة في بعض ليالي المناطق الجافة إلى درجة التجمد تتجمد تلك المياه المتسربة كما تترسب بللورات الملح مما يؤدى إلى تفكيك الحجر الرملي وتفتته. وأكثر الصخور تعرضاً لتلك العملية الصخور التى تقع عند أسافل الجروف والحافات حيث تكون قريبة من مستوى الماء الباطني وربما يساعد على ذلك وجود طبقة صماء تحجز المياه عند قاعدة الجرف أو الحافة.

٢- النشاط الحيوي للكائنات الحية: يساعد الإنسان والحيوان والنبات على تفكك وتفتت الصخور. فنشاط الإنسان في المحاجر والمناجم وحفر الأنفاق عند شق الطرق وتسوية الأرض واستخدام المتفجرات كلها عمليات تؤدى إلى تفتيت الصخور، وأيضاً يسبب نمو جذور الأشجار والنباتات ضغطاً شديداً يؤدى إلى تفتيت الصخوروكذلك توسيع الشقوق والفواصل. كما تعمل الكائنات الحية مثل الديدان والنمل والبكتيريا والحيوانات القارضة مثل الفئران والجرابيع وكذلك الأرانب البرية والكلاب البرية على حفر ونبش الصخور وتفتيتها. وبالإضافة إلى هذا العامل الميكانيكي الحيوى فإن إفرازات تلك الكائنات الحية أثناء حياتها والأحماض التى تتولد بعد موتها لها فعل كيميائي مؤثر على المعادن الصخرية فتحللها وينتج عنها معادن أخرى قد تكون ضعيفة يسهل إزالتها.

ثانياً: التجوية الكيميائية:

تلعب التجوية الكيميائية دوراً كبيراً في تحلل المادة الصخرية بمجرد أن يبدأ تفتتها، فتجعلها هدفاً أسهل لعمليات التعرية وأقل مقاومة لها. كما تؤدى التجوية الكيميائية إلى انشاء مواد جديدة أكبر في الحجم من المادة الأصلية. ويؤدى التزايد في الحجم إلى تكسر الصخور وبالتالي يزيد من فعل التجوية الكيميائية. كما يمكن أن يتم بواسطة التجوية الكيميائية انحلال بعض المعادن في الماء مما يسهل عملية الحركة والانتقال.

ويعد الماء العنصر الأساسي في التجوية الكيميائية، لذا فإن معدل التجوية يتزايد بإضافة الماء. كما تساعد درجة الحرارة المرتفعة على تنشيط عمليات التفاعل الكيميائي، وبالتالي فإن الأقاليم الحارة الرطبة من أكثر الأقاليم تعرضاً لفعل التجوية الكيميائية حيث تتصف ظاهرات السطح بها بالانسيابية

والاستدارة، بعكس الحال فى الأقاليم الحارة الجافة التى تنشط فيها التجوية الميكانيكية حيث تميل ظاهراتها إلى الحدة وذات أشكال زاوّية.

وعمليات التجوية الكيميائية الأساسية هى: الأكسدة، الهدرته، التميؤ، الكربنة، الاذابة، وتتم تلك العمليات بواسطة الماء والاكسيجين وثانى اكسيد الكربون وأيون الهيدروجين.

١- **الأكسدة Oxidation**: وهى عبارة عن تفاعل واتحاد الأوكسيجين مع عناصر أخرى، والمركب الناتج يكون أقل مقاومة لعمليات التعرية، وأكبر حجماً من المادة الأصلية. ويعد التأكسد أول ما يلاحظ من التغيرات الكيميائية المختلفة الناتجة عن التجوية. وتتضح هذه العملية بوجه خاص فى الصخور التى تحتوى على الحديد وهو معدن سهل التأكسد. ويوجد الحديد فى بعض المعادن فى صورة مختزلة أى حديدوز (Fe^{++}) فإذا حدث التأكسد إلى أيون الحديديك (Fe^{+++}) فى الوقت الذى لا يزال الحديد فيه جزءاً من التكوين البللورى، فلابد أن يجرى تنظيمات أيونية أخرى لأن أيوناً ثلاثى التكافؤ سيحل محل أيون ثنائى التكافؤ، وستؤدى تلك التنظيمات إلى تكوين بللورة أقل استقراراً ومن ثم اكثر تعرضاً للتفتت والتحلل. وفى بعض الحالات قد ينفصل الحديدوز من البللورة ويتأكسد فى نفس اللحظة تقريباً إلى حديديك. ومن أفضل الأمثلة على ذلك اشتراك كل من الأكسدة والتحلل بالماء فى تجوية معدن الأوليفين الذى به نسبة عالية من الحديدوز بالإضافة إلى عناصر مركبة من السيلكا التى سرعان ما تتأثر بعملية الأكسدة.

أوليفين + ماء ← ايدروكسيد مغنسيوم + حامض السلسليك + أكسيد الحديدوز.

سيليكات المغنسيوم والحديد + ماء ← ايدروكسيد مغنسيوم + حامض السلسليك + اكسيد الحديدوز.

ويتحلل أكسيد الحديدوز بواسطة عملية التميؤ وبوجود مزيد من الأوكسيجين فإنه يتحول إلى معدن الليمونيت. وقد يتحلل الأوليفين بالماء فيعطى سربنتين + أكسيد حديدوز ويتأكسد اكسيد الحديدوز فإنه يتحول إلى معدن الهيماتيت.

سيليكات المغنسيوم والحديد + ٢ جزئ ماء ← سيليكات المغنسيوم المائية (سربنتين) + أكسيد حديدوز + كربونات المغنسيوم.

اكسيد حديدوز + ذرتان أوكسيجين ← هيماتيت.

وتنشط عملية الأكسدة ويزداد تأثير الأوكسيجين بوجود الرطوبة ممثلة في الماء أو بخار الماء. ومن أفضل الأمثلة على ذلك تأكسد معدن البيريت (كبريتيد الحديد) وتحوله إلى كبريتات الحديدوز سهلة الذوبان في الماء، ويتخلف عن ذلك أيون الكبريت الذي يتحد مع الماء مكوناً حامض الكبريتيك الذي يؤثر بدوره على المعادن الأخرى.

كبريتيد الحديد (البيريت) + أوكسيجين ←(بخار الماء) كبريتات الحديدوز + أيون الكبريت.

أيون الكبريت + ماء ← حامض كبريتيك (مخفف).

٢- التحلل بالماء أو الهدرتة Hydrolysis، تعبر تلك العملية عن إضافة الماء الذي هو مركب في الأصل من الهيدروجين والأوكسيجين (H_2O)إلى المادة الصخرية. وتعد تفاعلات التحلل المائي ذات أهمية في تجوية مجموعة كبيرة من المعادن تشمل الفلسبارات والميكا. ويمكن اتخاذ معدن الأورثوكلاز أو معدن الميكروكلين كنموذج للمعدن الذي يتحلل مائياً حيث تحل أيونات المعادن محل هيدروكسيل الصخور، ويعمل هذا التفاعل على تكوين ذرات الطين. وتوضح المعادلة التالية عملية التفاعل بين أيونات الهيدروجين (H) مع هيدروكسيل الصخور (HO) على النحو التالي :

أورثوكلاز + أيونات الهيدروجين + أيونات الهيدروكسيل ← أيدروكسيد البوتاسيوم

سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم + أيون الهيدروجين + أيون الهيدروكسيل ← ايدروكسيد البوتاسيوم.

والبوتاسيوم الذي ينفصل نتيجة هذا التفاعل قابل للذوبان ويمكن أن تمتصه بعض المعادن أو يزال مع مياه الصرف. أما مركبات الألومنيوم والسيلكون فقد يعاد تبلورها مكونة معادن الطين مثل الكاولينيت، وقد يبقى أحدهما أو كلاهما في صورة أوكسيد إذا كانت الظروف ملائمة أو يجرفان في المياه الجارية أو المتسربة عبر الشقوق.

٣- التميؤ Hydration، وهي عملية اتحاد أيونات الهيدروجين والأوكسيجين بالمركبات المعدنية التي ستتميؤ، وتصبح هذه الأيونات جزءاً لا يتجزأ من الوحدات البللورية للمعدن. على سبيل المثال عندما تتميؤ الميكا تتحرك أيونات الهيدروجين والأوكسيجين بين الصفائح الورقية فتتمدد بللورات الميكا وتصبح أكثر مسامية مما يساعد علميات التحلل الكيميائي الأخرى.

ومن أمثلة التميؤ تكون حديد الليمونيت الأصفر من حديد الهيماتيت الأحمر. وكذلك تحول معدن الانهيدريت (كبريتات الكالسيوم اللامائية) إلى معدن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية). وقد تفقد أيونات الماء إذا جفت منتجات التميؤ بسبب الظروف الجوية فيتحول الليمونيت إلى هيماتيت مع حدوث تغير واضح في اللون. كما تتعرض المعادن السيليكاتية للمعادن للماء فتتحول إلى معادن السيليكات المائية وذلك على النحو التالي :

سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم (الأورثوكلاز) + ماء + ثاني اكسيد الكربون ← معدن الكاولين + سيلكا + كربونات البوتاسيوم.

وحينما يتعرض الأورثوكلاز إلى الماء المتأين فإن أيون الهيدروجين له القدرة على طرد أيون البوتاسيوم من المعدن، ويطرد أيون البوتاسيوم ينهار التركيب الداخلي لمعدن الأورثوكلاز وتتحد بقية عناصره مع أيون الهيدروجين مكونة معدن الكاولين (سيليكات الألومنيوم المائية) ويتخلف عن هذه العملية بعض السيليكا في حالة غروية تختلط مع معدن الكاولين. ويصحب عملية التميؤ عملية الكربنة حيث يتحد أيون البوتاسيوم المطرود من معدن الأورثوكلاز مع أيون الكربون فتتكون كربونات البوتاسيوم.

ويتحلل البلاجيوكلاز (سيليكات الألومنيوم والصوديوم والكالسيوم) باتحادها مع الماء. ومن المعروف أن البلاجيوكلاز تتزايد فيه كمية الصوديوم على حساب الكالسيوم فيصبح بلاجيوكلاز صوديومي مثل معدن الألبيت أو تتزايد فيه كمية الكالسيوم على حساب الصوديوم فيصبح بلا جيوكلاز كلسي مثل معدن الأنورثيت، ويتم التميؤ في الحالتين على النحو التالي :

ألبيت + ماء + ثاني اكسيد الكربون ← كاولين + سيليكا + كربونات الصوديوم.

أنورثيت + ماء + ثاني اكسيد الكربون ← كاولين + سيليكا + بيكربونات الكاليوم.

ويتعرض الكاولين إلى مزيد من التميؤ فيتحول إلى أكسيد الألومنيوم المائي (البوكسيت).

كاولين + ماء ← بوكسيت + سيليكا.

وعند تحلل معادن سيليكات الألومنيوم والحديد والمغنسيوم مثل معادن الأوجيت والهورنبلند والبيوتيت بعملية التميؤ تعطي نتائج مشابهة لتميؤ معادن الفلسبارات فتعطي معادن الطين مثل الأليت والمونتمور لينيت والسيليكا الغروية

وبيكربونات الكالسيوم والحديد والمغنسيوم المذابة، وإذا توافر الأوكسيجين فإنه يتحد مع الحديد مكوناً معدن الهيماتيت.

٤- الكربنة Carbonation، هى عملية اتحاد ثانى اكسيد الكربون أو أيون البيكربونات مع معادن الصخور. ومصدر ثانى اكسيد الكربون الغلاف الجوى وأيضاً تفتت وتحلل المادة العضوية. ويتحد ثانى أكسيد الكربون مع الماء مكوناً حامض الكربونيك.

غاز ثانى اكسيد الكربون + ماء ← حامض كربونيك.

ويسبب هذا الحامض إذابة كيميائية لمعدن الكالسيت فى الحجر الجيرى فتتكون بيكربونات الكالسيوم سهلة الذوبان فى الماء.

كالسيت (كربونات الكالسيوم) + حامض كربونيك ← بيكربونات كالسيوم

وكذلك عند تعرض الصخور التى تحتوى على عناصر البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم مثل الصخور الجرانيتية لعملية الكربنة فإنها تعطى طين وكربونات بوتاسيوم وكربونات صوديوم وكربونات كالسيوم وعند تعرض تلك النواتج إلى عملية الكربنة فإنها تتحول إلى بيكربونات.

٥- الإذابة Solution، وهى عملية تحلل بعض المعادن الصخرية بالماء، وتختلف قابلية الصخور للذوبان فى الماء باختلاف أنواعها مثل الملح الصخرى (كلوريد الصوديوم) والجبس اللذان لهما قابلية كبيرة للذوبان فى الماء سواء كان نقياً أو حمضياً، وهناك معادن أخرى لا تذوب بسهولة.

العوامل التي تؤثر في تجوية المعادن :

يتأثر معدل التجوية بكثير من العوامل، ويمكن وضع بعض التعميمات عن المعدل الذى يحدث به هدم المعادن. ويؤثر فى درجة التجوية ونوعها عدة عوامل أهمها :

١– التركيب المعدنى للصخور ونسيجها الصخرى ومظهرها الخارجي وبنائها.
٢– الخواص الفيزيائية للمعادن الصخرية وصفاتها الكيميائية.
٣– الظروف المناخية.

وفى النهاية يجب توضيح أن التجوية الميكانيكية والتجوية الكيميائية على الرغم من التمييز بينهما من حيث النوع إلا أنه من الصعب الفصل بينهما من حيث عملهما فى ا لطبيعة بمعنى أنه لا يوجد صخر فى منطقة ما يمكن وصفه بأنه قد تأثر فقط بالتجوية الميكانيكية دون الكيميائية أو العكس ولكن تختلف

درجة التأثر بكلتا العمليتين. لذا فمن الصعب تقسيم سطح الأرض إلى مناطق على أساس كل نوع من نوعى التجوية، ولكن يمكن القول أن أحد النوعين يسود فى بعض المناطق على النوع الآخر. وعمليات التجوية الميكانيكية دائماً مضعفة للصخر أما عمليات التجوية الكيميائية فقد تكون مضعفة للصخر أو ينتج عنها مواد أكثر مقاومة وصلابة من الصخر الأصلى.

التعرية Erosion

تختلف عمليات التعرية عن عمليات التجوية اختلافاً جوهرياً، فبينما لا تتضمن التجوية أى تحريك للمواد التى تنتج عنها من أماكنها، فإن التعرية تتضمن عمليات كثيرة تتلخص فى نحت الصخور ثم نقلها من أماكنها الأصلية ثم ارسابها فى أماكن جديدة. ويعنى هذا أن التعرية تؤدى وظيفتين متعارضتين الأولى الهدم والثانية البناء. وبين الهدم والبناء النقل. لذلك فإن مصطلح التعرية Erosion فيه كثير من التجاوز لذا يستخدم لفظ Denudation للدلالة على التعرية بمعناها الشامل الذى يتضمن العمليات الثلاث الهدم والنقل والبناء. وعوامل التعرية هى: المياه الجارية على سطح الأرض، الجليد، أمواج البحر قرب السواحل، المياه الجوفية، الرياح. ولكل عامل من هذه العوامل ميدانه الذى يظهر فيه أثره بوضوح وتسمى هذه العوامل بالعوامل الجيومورفولوجية. ومن الملاحظ أنها تنشأ فى جو الأرض وتوجهها قوة الجاذبية، على أن الجاذبية لا تعتبر عاملاً جيومورفولوجيا. وعلى الرغم من اختلاف عوامل التعرية، إلا أنها تتعاون وتشترك فى تكوين أشكال سطح الأرض المختلفة والهدف من الحديث عن كل منها على حدة هو تسهيل الدراسة.

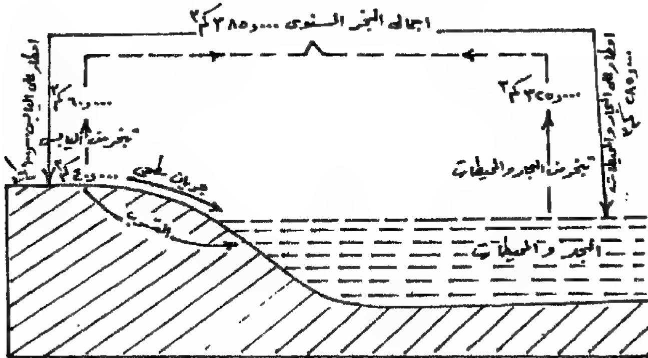
أولاً: تعرية المياه الجارية والأنهار والظاهرات المرتبطة بها

تعتبر المياه الجارية أهم عوامل تشكيل سطح الأرض ليس فقط فى المناطق الرطبة حيث المجارى المائية الدائمة، بل فى المناطق الجافة وشبه الجافة. ولكن بالنسبة لهذه الجهات الجافة يثور الجدل حول ما إذا كان نوع المناخ الحالى بها هو المسئول عن تشكيل معالم سطحها، أم أنها تعرضت فى فترات سابقة خلال عصر البليستوسين لأدوار مطيرة هى التى قامت بالتشكيل قبل أن تسود ظروف الجفاف الحالية.

المياه: تتمثل المياه فى أشكال المادة الثلاثة، حيث الشكل الغازى فى الغلاف الجوى والشكل الصلب فى الغطاءات الجليدية، الشكل السائل فى المحيطات والبحار والأنهار والبحيرات. وقد تكون المياه ظاهرة فوق سطح

الأرض أو مستترة في داخلها كما قد تكون متحركة بشكل واضح عبر مجارى محدد، أو راكدة مستقرة.

دورة المياه في الطبيعة: يقدر حجم المياه على سطح الأرض بـ ١٣٦٠ مليون كم٣ وتتوزع هذه الكمية في ٩٧,٢ ٪ بحار ومحيطات، ٢,١٥ ٪ غطاءات وقبعات جليدية، ٠,٦٥ ٪ نصيب الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية والغلاف الغازى. وهناك دورة مائية «هيدرولوجية» عامة تتبادل المياه فيها بين البحار والمحيطات، والغلاف الغازى، اليابس. وإذا ما تتبعنا بداية هذه الدورة من البحار والمحيطات، فإننا نلاحظ أن ما يقرب من ٣٢٥ ألف كم٣ من الماء تتبخر سنوياً بالإضافة إلى ٦٠ ألف كم٣ من البحيرات والأنهار والتربة والنبات على سطح الأرض، أى أن ايراد الغلاف الغازى سنوياً من بخار الماء يعادل نحو ٣٨٥ كم٣، يسقط منها نحو ١٠٠ ألف كم٣ على شكل أمطار على يابس الأرض. ويعود الفرق بين كمية التساقط والبخر على اليابس ومقدار ٤٠ ألف كم٣ مرة أخرى إلى البحار والمحيطات في حالة سيولة، متخذاً طريقة فوق سطح الأرض وتحته، أى على شكل أنهار ومياه جوفية أما الباقى وقدره ٢٨٥ ألف كم٣ فيعود مباشرة إلى المسطحات البحرية والمحيطية على شكل أمطار ساقطة إلا من قدر ضئيل يبقى معلقاً في الهواء على شكل بخار ماء (شكل ١٠٢).



شكل رقم (١٠٢)
دورة المياة في الطبيعة

المياه الجارية: يجرى على سطح الأرض قدر يسير من جملة الدورة الهيدرولوجية على شكل جداول وغدران تتجمع فى روافد تتشابك وتتواصل بدورها فى مجارٍ أكبر أى روافد كبيرة تتجمع لكى تكوّن الأنهار الرئيسية. ويعرف هذا الجزء من الدورة الذى يجرى على سطح الأرض بالمياه الجارية Run Off وتتوقف كمياته على عدة عوامل منها :

١- **التسرب Infiltration:** ويعتبر من أهم العوامل التى تؤثر على كمية الجريان السطحى، فكل قطرة ماء تجد سبيلها إلى باطن الأرض تقتطع من المياه الجارية على السطح. وتتوقف كمية المياه المتسربة على مدى مسامية ونفاذية الصخور السطحية فمناطق التكوينات الرملية والحصوية لها قدرة عظيمة على تسريب الماء، وبالتالى قد لا يوجد فى بعض هذه الجهات جريان سطحى من أى نوع. وعلى العكس من ذلك فإن مناطق التكوينات الطينية قلما تسمح بالتسرب إلا فى أضيق الحدود، ومن ثم تعظم كمية المياه الجارية فوق سطحها. فعندما تسقط قطرات المطر ترفع حبيبات الطين وتحطها، ويقدر أن عاصفة ممطرة واحدة تستطيع أن تثير نحو ١٠٠ طن من التربة فى الفدان الواحد. وتعمل هذه الإثارة على إزاحة التربة ونقلها إلى أسافل السفوح، وأكثر من هذا فإن استثارة الطين فوق سطح الأرض يجعل حبيبات الطين تسد منافذ التربة فلا يستطيع الماء أن يتسرب خلالها مما يسمح بزيادة حجم الماء الجارى على السطح ويزيد من قوته ومن تأثيره كعامل تعرية. وفى المناطق الجافة وشبه الجافة عندما يسقط المطر بعد فترة انقطاع طويلة فإن التربة تتشبع به ثم يبدأ الماء فى التغلغل فى الطبقات السفلى منها، وبعد عدة ساعات تظل قدرة التربة على مقاومة التسرب ثابتة. والسبب فى ارتفاع معدل تسرب الماء فى التربة فى بدء سقوط المطر ثم انخفاض هذا المعدل هو أن مسام التربة تكون متفتحة أولاً ثم لا تلبث أن يسدها الطين بعد ذلك.

٢- **كثافة الغطاء النباتى:** يؤثر الغطاء النباتى على الجريان السطحى بطريقتين متناقضتين: فهو يعمل على ضياع كمية لا بأس بها من الماء عن طريق النتح. وعند إضافة ما يتبخر من التربة مباشرة يتضح أن كمية الفاقد بفعل النتح والبخر معاً أو ما يعرف Evapotranspiration كبير لا يعطى الفرصة لأى جريان سطحى بالمناطق الجافة وشبه الجافة. ومن ناحية أخرى فإن جذور النبات تعمل على تماسك التربة وتزيد من قدرتها على امتصاص وتخزين المياه، كما أن سيقان النباتات تعمل على إعاقة حركة الانسياب السطحى ويتبدد

جزء من طاقة المياه فى مقاومة جذور النباتات. والحصيلة النهائية للغطاء النباتى هى تنظيم عملية الجريان السطحى.

٣- كمية التساقط: من المعروف أنه كلما زادت كمية التساقط زادت كمية المياه الجارية فوق السطح. وتختفى قطرات الماء فى أول الأمر بسرعة بمجرد اصطدامها بالأرض حيث تنتشر بها مسام التربة والصخور، فلا تنساب على السطح أى صورة من صور الجريان قبل أن تتشبع تلك المسام. فإذا لم تكن كمية الأمطار من الوفرة ومدتها من الكفاية بدرجة تسمح بوجود فائض يفوق سعة المسام لا يجرى على السطح أى جريان سطحى، وكثير من أمطار الجهات الجافة وشبه الجافة من هذا النوع. وأيضاً لنظام التساقط أثره فالجهات التى تتلقى تساقطاً ثلجياً لفترة طويلة من العام، تظل المياه محتبسة حتى تذوب الثلوج فى فصل الحرارة ذوباناً تدريجياً يؤدى إلى جريان سطحى متزن، أو ذوباناً فجائياً يصاحبه فيضانات عنيفة إذا ما ارتفعت درجة الحرارة بصورة مفاجئة واقترن ذلك بسقوط الأمطار. وفى الجهات الجافة فإن عواصف المطر المفاجئة ينتج عنها فيضانات وسيول ويرجع السبب فى ذلك إلى تركيز التساقط فى فترة زمنية قصيرة، فضلاً عن جفاف التربة وفقر الغطاء النباتى، فتمتلئ الأودية الجافة بالمياه، ولا يدوم هذا الجريان السيلى إلا لفترة وجيزة مع كل عاصفة.

٤- درجة الانحدار: لكى يجرى الماء على سطح الأرض لابد أن يكون السطح منحدراً وكلما زادت درجة الانحدار زادت سرعة الجريان. وتعتبر درجة الانحدار أحد عنصرى طاقة التيار والعنصر الآخر هو كمية المياه. ولكى تنحت المياه السطح وتكتسحه وتقتلع صخوره لابد أن يتصف هذا السطح بدرجة انحدار مناسبة. أما الأسطح المستوية أو قليلة التضرس فإن المياه تبطئ من حركتها وتنصرف إلى منخفضات محلية معطية الفرصة بذلك للضياع بواسطة التسرب والبخر.

يتضح مما سبق أن قدرة المياه الجارية فى التعرية تتناسب تناسباً طردياً مع كمية الأمطار الساقطة ومع درجة انحدار سطح الأرض، ولكنها تتناسب تناسباً عكسياً مع نفاذية ومسامية مواد سطح الأرض والغطاء النباتى.

أشكال الجريان السطحى:

١- التدفقات المائية العشوائية Over Land Flows:

لا يتبع هذا الشكل من الجريان مجار محددة مستديمة واضحة المعالم، بل ينتشر فى أغشية رفيعة تنشأ بسرعة فوق السطح. وتتخذ التدفقات العشوائية أشكالاً متعددة منها ما يعرف باسم التدفقات الغطائية Sheet Flows وذلك فوق المناطق

الصخرية الصماء أو المغطاة بالتربة والتى تتميز باستواء ملحوظ للسطح ومنها أيضاً ما يجتاح المناطق العشبية، فيقسم الغشاء المائى السطح إلى أعداد لا تحصى من قنوات رفيعة متعرجة تشبه الخيوط التى تتشعب وتدور حول سيقان الحشائش. وحيث توجد طبقات سطحية من بقايا أوراق الأشجار المتساقطة فى مناطق الغابات فإن المياه تسرى تحت هذه الطبقات فلا تبدو للعيان.

ويناظر هذا النوع من التدفقات فى المناطق الرطبة نوع مشابه فى المناطق الجافة وشبه الجافة تعرف باسم الفيضانات الغطائية Sheet Floods، وهو يختلف عن النوع السابق من حيث كمية المياه الوفيرة المنسابة أثناء حدوث الفيضان كذلك غالباً ما يحمل هذا الفيضان الغطائى كميات هائلة من الرواسب السطحية التى جهزتها عمليات التجوية المختلفة خلال الفترات الطويلة بين كل عاصفة مطر وأخرى والتى أنشأت هذا النوع من التدفق المائى.

٢- الجداول الصغيرة Shoe-string Rills:

توجد مرحلة من الجريان السطحى فيما بين التدفقات المائية العشوائية وبين المجارى المائية المحددة، وفيها تتبع المياه مجار محددة صغيرة وغير ثابتة، وهى ما يعبر عنها باسم الجداول أو المسيلات Rills. وهذه الجداول تنشأ بالآلاف أثناء كل عاصفة مطر، وتنفض عقب ذلك بأيام قليلة وتتخذ هذه الجداول مسارات شبه متوازية علي جوانب التلال، ولا يتعدى عمق الواحدة منها وعرضه بضعة سنتيمترات. وأحياناً يتبع ظهور هذه الجداول نظام فصلى يتفق مع مواسم المطر، ولكنها سرعان ما تختفي وتلتئم الأرض فى فصول الجفاف. وأهم ما يميز هذا النوع من الجريان السطحى عظم نشاطه فى تعرية التربة فى المناطق الفقيرة أو الجرداء من النبات الطبيعى. ويتحدد مصير المياه التى تفيض بها التدفقات العشوائية والجداول تبعاً لكمية الأمطار وطول فترة سقوطها، فإذا كانت الأمطار غزيرة ومستمرة لفترة كافية، فإن المياه تنصرف إلى المجارى النهرية أو البحيرات القريبة . أما إذا كانت الأمطار قليلة ضاعت المياه بالبخر والتسرب قبل بلوغها المجارى والمسطحات المائية الدائمة.

٣- القنوات النهرية الثابتة Stream Channels:

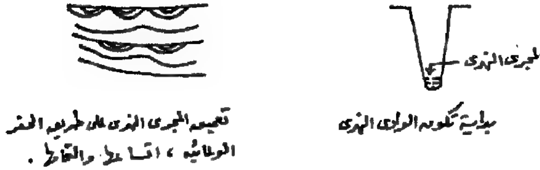
تتبع المياه الجارية أقصر السبل فى هبوطها على جوانب المنحدرات، وتنتظم فى شبكات متكاملة تعرف باسم نظم التصرف المائى Drainage

Systems يشغل كل منها مساحة أرضية بيضاوية أو مستطيلة أو قريبة للاستدارة، تنصرف إليها المياه التى تسقط على كل هذه المساحة وتعرف هذه المساحة باسم منطقة التجميع Catchment Area. ويفصل كل حوض عما يجاوره مرتفعات تؤلف بينها ما يعرف باسم خط تقسيم المياه Water devide . ويلاحظ أن المياه الجارية في الأحباس العليا من أى حوض نهرى Basin تتبع مجارى صغيرة وغدران لا يلبث الكبير منها أن يجذب الصغير. وينمو على حسابه فى عملية تعرف باسم اختزال الجداول Abstraction rill، ويتلاشى الصغير ويبقى الكبير الذى ينمو بفضل ما ينصب فيه من مجار أصغر، ويتكون بذلك رافد صغير Tributary. وحين تنصرف مجموعات منه إلى روافد ثانوية تصب بدورها فى روافد رئيسية يتكون منها النهر الرئيسى. إذن فالمجرى المائى الثابت المحدد عبارة قناة أرضية طولية ضيقة حفرتها المياه الجارية لكى تتمكن هذه المياه بما تحمله من رواسب من سلوك أفضل السبل لنقل كل ما يصل من منطقة التجميع بين المنابع والمصبات. هذا وتختلف سعة المجارى المائية فتتراوح بين قنوات ضيقة وأخرى واسعة يزيد عرض بعضها عن الكيلو متر.

تعميق المجري :

العمق نتيجة مباشرة لنحت قاع المجرى بفضل قوة اندفاع الماء وقدرته على اقتلاع الصخور وانتزاع كتل منها على طول رحلته سواء من القاع أو الجوانب. وتتحطم تلك الكتل الصخرية بمرور الوقت وتنسحق وتتفتت إلى جزيئات صغيرة الحجم تحملها المياه وتستخدمها أداة للحفر فتتحطم جوانب المجرى وتتعمق القناه النهرية. وتسمى عملية النحات الميكانيكية هذه بعملية النحت Abrasion. كما تسهم عملية الإذابة فى ذلك عن طريق إزالة بعض المعادن القابلة للذوبان من الصخور فتضعف مقاومتها، خاصة وأن مياه النهر تعتبر مياه حمضية بفضل احتوائها على أحماض عضوية نتيجة تعفن النباتات وتحلل الكائنات الحية الأخرى التى تعيش فى الماء، وأيضاً وجود غاز ثانى اكسيد الكربون ذائباً فى المياه. وتساعد عملية الذوبان وما يتبعها، على تآكل جوانب المجرى وتعميقه وتسمى هذه العملية بالتآكل Corrosion وفى الوقت نفسه تتسلح المياه بما تحمله من مواد عالقة أو مجرورة أو مدفوعة على القاع فتزيد من قوة عامل اندفاع المياه فتتهدم الجوانب وينحت القاع. وتلعب التجوية الميكانيكية دوراً مهماً فى تفكيك وتفتيت الصخور عند جفاف المجارى المائية أو

انخفاض منسوب المياه فيها فينكشف جانبى المجرى وقاعة أو بعض أجزاء منهما وتجرف المياه فى أول فيضان تلك المفتتات وتستخدمها كأسلحة ومعاول لتحطيم الجانبين وتعميق القاع. وتعتبر الحفر الوعائية Potholes التى تتكون فى قاع المجرى نتيجة اختلاف مقاومة الصخور بقاع المجرى أحد العوامل المهمة فى تعميقه. وتكون على شكل فجوات صغيرة أول الأمر، وبسبب حدوث دوامات يولدها التيار فى القاع والتى تدفع معها فى دورانها الحصى والرمال فتتآكل جوانب الحفر وتتسع ويزداد عمقها. وباستمرار هذه العملية تتصل هذه الحفر الوعائية بالحفر المجاورة وتؤدى فى النهاية إلى تعميق المجرى (شكل ١٠٣).



شكل رقم (١٠٢)
بداية تكون الوادي النهري وتعميق المجري

توسيع الـــوادي:

يتم توسيع الأودية بوسائل متعددة منها عمليات الانهيار الأرضى بصورها المختلفة من زحف وانزلاق وسقوط وكلها تساعد على انتقال المواد الصخرية من أعالى المنحدرات تجاه بطون الأودية وتصل أجزاء من هذه المواد إلى المجرى حيث تحملها مياه النهر معها وتستخدمها كأسلحة فى النحت. ومن العمليات المهمة التى تسهم بقسط وافر فى توسيع الأودية عملية النحت القاعدى Under Cutting فعندما يكون المجرى ملاصقاً لقاعدة المنحدر على أحد الجوانب، يعمل على نحت تلك القاعدة بسرعة وينهار ما فوقها من صخور فتحملها المياه، ويتراجع جانب الوادى عند هذه النقطة. كما تساعد عملية الجدولة Rill Wash على إزالة التربة من جوانب الأودية ومن ثم توسيعها. وفى المناطق التى يلتقى عندها النهر والرافد الداخل إليه تتعرض لعمليات التجوية

والانهدام والنحت من الجانبين فتتضاءل بسرعة وينمو على حسابها الوادي ويتسع. (شكل ١٠٤).

حمولة النهر Stream Load:

تؤلف المواد التي تلتقطها مياه النهر من مجراه مباشرة، والتي تجلبها روافده من أنحاء الحوض، والانهيارات والتدفقات من جوانب المنحدرات التي تطل عليه حمولة النهر من المواد الصلبة وتدفع مياه النهر تلك الحمولة وتنقلها صوب المصب حتى تستقر في النهاية في البحر أو المحيط أو البحيرة التي ينتهي إليها النهر. ويلاحظ أن أي مجرى لا يستطيع أن ينقل حمولة تزيد عن أو تساوي طاقته Stream Energy، بل عادة ما يحمل النهر كمية من المواد أقل من طاقته وأي إضافة طارئة يقابلها ارساب. وينقل النهر حمولته بالوسائل التالية:

١- الجر أو السحب Traction:

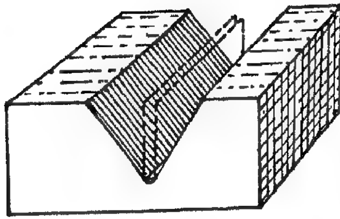
وذلك بالنسبة للكتل الصخرية الكبيرة والتي لا يمكن أن تبقى عالقة، لذلك فإن قوة الدفع الهيدروليكي للتيارات المائية تعمل على سحبها بحيث تظل معظم الوقت مرتطمة وملامسة لقاع المجرى. ولبعض الأنهار سريعة الجريان مثل نهر الكلورادو القدرة على سحب جلاميد ضخمة، كما أن لبعض الأودية الصحراوية الجافة من الانحدار والعنف عند سقوط الأمطار الفجائية ما يكفي لسحب ودحرجة جلاميد من الصخور.

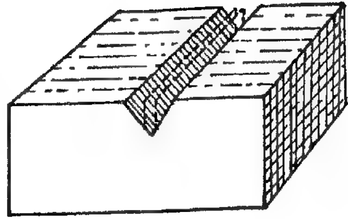
٢- القفز Saltation:

تستطيع الحبيبات الصغيرة من المفتتات الصخرية التي تنقلها مياه النهر في المجرى عالقة لفترة أطول، ولكنها ترتطم بالقاع بعد فترة ثم تندفع إلى أعلى وتسير مع ا لتيار مسافة ما تعود بعدها للارتطام بالقاع مرة أخرى وهكذا في قفزات متتابعة، وإذا ما تصادمت وارتطمت بحصوة صغيرة أزاحتها قليلاً عن موضعها أو دفعتها إلى أعلى، فتتخذ هذه الحصوة مساراً مشابهاً لمسار تلك التي دفعتها، وهكذا تنتقل بعض الحبيبات بالقفز بينما يزحف بعضها على القاع.

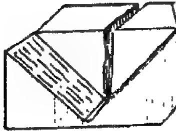
٣- التعلق Suspension:

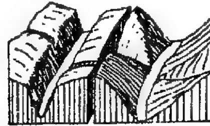
تتألف معظم المواد العالقة بمياه النهر من الغرين والطين التي يمكن أن تظل



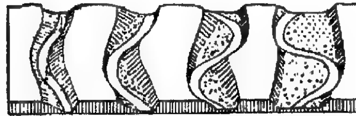


يرجع شكل القطاع العرضي للوادي الذي يوصف على شكل حرف V إلى أنه النهر لو ترك وشأنه لنحت خانقاً قائم الجوانب ، ولكن لما كانت هناك العديد من العمليات التي تعمل بجانب النحت المائي ، فإن جوانب الأودية تنفرج وتتراجع جانبياً . ففي الوقت الذي يعمل فيه النهر حفراً رأسياً ، تعمل عمليات التجوية والانزلاقات الأرضية والغسل على توسيع جوانب الأودية .





توسيع الوادي النهري بعد تعميقه



الاتساع التدريجي لقاع الوادي النهري



قطاعات توضح مراحل تكوين الوادي النهري بالنحت الرأسي والنحت الجانبي

شكل رقم (١٠٤)

توسيع الوادي النهري بعد تعميقه (النحت الرأسي والنحت الجانبي)

عالقة بالمياه وتحملها التيارات و الدوامات لمسافات طويلة حتى تصل إلى المصب. وتعد الحمولة في أوقات الفيضان من هذا النوع الذى يعكر المياه. وهى تزداد أثناء فيضان النهر وقوة اندفاعه التى قد تصل إلى ٦ أمتار فى الثانية وتستطيع تحطيم الجسور الطميية وتقتطع منها لتصبح جزءاً من الحمولة العالقة.

٤- المــواد المــذابــة:

وهى عبارة عن أنواع مختلفة من الأملاح الذائبة على هيئة أيونات كيميائية غير مرئية والتى تستنفد قسطاً من طاقة النهر، بمعنى أن زيادة كمية هذه المواد تقلل من قدرة النهر على حمل المواد العالقة. وقد تكون المواد المذابة على شكل أحماض عضوية نتيجة لتحلل المخلفات النباتية والحيوانية فى حوض النهر، أو مواد جيرية إذا ما مر النهر على مكاشف من الحجر الجيرى بالإضافة إلى كميات قليلة من الكلوريدات والنترات والسلفات والسليكات.

مستوى القاعدة Base Level:

هو الحد الأدنى للتعرية بالنسبة لأى مجرى نهرى، أو بمعنى آخر هو منسوب النقطة التى يقع عليها مصب النهر. وهناك نوعان من مستوى القاعدة، الأول ويعرف بمستوى القاعدة العام وهو مستوى سطح البحر الذى تنتهى إليه مباشرة مياه الأنهار، والثانى ويعرف بمستوى القاعدة المحلى وهو الذى تنتهى إليه الأنهار الداخلية. وقد يكون المستوى المحلى على منسوب أعلــى أو أدنى من منسوب سطح البحر (مستوى القاعدة العام). فنهر الأردن ونهر الفولجا يمارسان نشاطهما الجيومورفولوجى إلى مستوى دون المنسوب العام لسطح البحر. (البحر الميت بالنسبة للأول، بحر قزوين بالنسبة للثانى) بينما نرى نهرى سرداريا وآموداريا ينتهيان إلى بحر آرال الذى يقع على منسوب أعلى من منسوب سطح البحر. وهناك نوع آخر من مستوى القاعدة المحلى يعرف باسم مستوى القاعدة المؤقت وإليه تنتمى المجارى المائية التى تصب فى بحيرات. فمياه البحيرات تعتبر مستوى قاعدة لا تستطيع المجارى المائية أن تنحت مجاريها دونه، ولكن البحيرات فى أحواض الأنهار تعتبر ظاهرة قصيرة العمر، فهى زائلة لا محالة إذ سرعان ما تطمس وتردم أحواضها، وتشق الأنهار مجار لها خلالها ولا يتبقى من البحيرة سوى نوع من الرواسب الناعمة تعرف بالرواسب البحيرية Lacuestrine. كما تعتبر مجارى الأنهار مستويات قاعدة محلية للروافد التى تنتهى إليهما فمنسوب نقطة التقاء الرافد بالمجرى الأكبر هى

أقصى حد يمكن أن يخفض الرافد قاع مجراه نحوه، ولكن لما كان المجرى الرئيسي دائب على نحت قناته وتعميقها فإن هذه النقطة غير ثابتة، أي أن مستوى القاعدة المؤقت هذا عرضه للتخفيض.

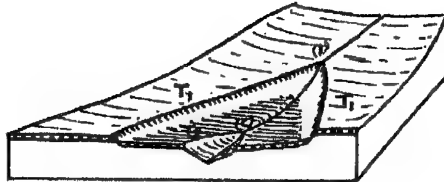
ويتعرض مستوى القاعدة العام إلى ذبذبات بين ارتفاع وانخفاض نتيجة لأسباب عديدة وينجم عن انخفاضه تجديد لنشاط الأنهار وعن ارتفاعه غمر للأجزاء الدنيا للأودية وتنشط عملية الارساب.

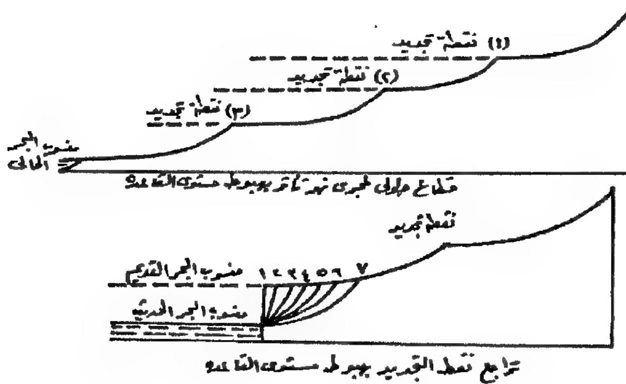
تجدد نشاط النهر Rejuvenation:

يتجدد نشاط النهر نتيجة حركة رفع الأرض التي يجرى فوقها، أو نتيجة انخفاض في مستوى القاعدة حيث يستعيد النهر قوته ويأخذ في تعميق مجراه محاولاً الوصول إلى منسوب قريب من منسوب مستوى القاعدة الجديد. وتسمى هذه العملية تجديد شباب النهر Rejuvenation. وعندما يصل النهر إلى هذا المنسوب القريب يبدأ في بناء سهل فيضى جديد على منسوب أدنى من منسوب السهل الفيضى السابق الذى تبدو بقاياه على شكل مصطبة نهرية على جانبى الوادى. وإذا ما تجدد نشاط النهر مرة أخرى تتكرر هذه العملية ويبنى سهلاً فيضياً جديداً، ويترك السهل الفيضى السابق على شكل مصطبة نهرية أخرى. وبذلك تصبح هناك مصطبتان تشيران إلى عدد مرات تجديد الشباب. وتعتبر المصاطب النهرية أحد ظواهر جانبى الوادى التى تشير إلى هذه العملية. ولكن هناك ظاهرة أخرى تشير أيضاً إلى تجديد الشباب وهى ظاهرة نقط التجديد على مجرى النهر نفسه. ونقطة التجديد عبارة عن مسقط مائى تنحدر عليه المياه بشدة، وهى تشير في أول الأمر إلى نقطة المصب القديم التى كان ينتهى عندها مجرى النهر قبل أن ينخفض مستوى القاعدة. ونتيجة لعملية التآكل الناجمة عن انحدار المياه فإن نقطة التجديد تتراجع إلى الخلف صاعدة نحو المنابع. وبصفة عامة فإن عدد المصاطب النهرية يتساوى مع عدد نقط التجديد، وهما معاً يشيران إلى عدد مرات انخفاض مستوى القاعدة أو عدد مرات تجديد الشباب. (شكل ١٠٥).

ظاهرات الارساب النهرى:

تبدأ الأنهار في عملية الارساب حينما يقل حجم مياهها أو إذا قلت درجة انحدارها ومن ثم تتناقص سرعتها. ويقل حجم المياه حينما يعبر النهر اقليماً





شكل رقم (١٠٥)

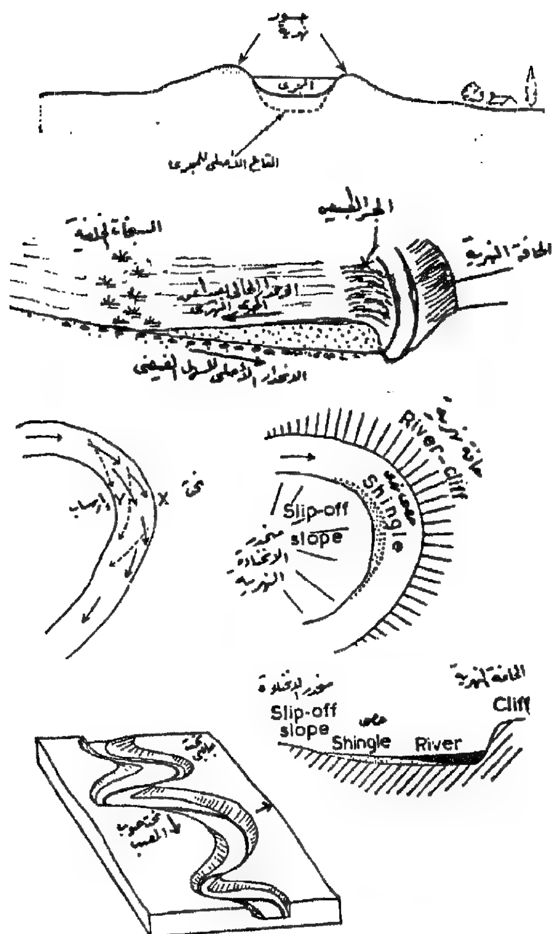
نقط التجديد والمصاطب النهرية

جافاً فتتعرض مياهه للتبخر الشديد، أو إذا شق النهر أو جزء منه طريقه خلال منطقة تتكون من صخور مسامية كالحجر الرملى أو صخور منفذة كالحجر الجيرى فيتسرب جزء من مياهه، أو حينما يحل فصل الجفاف فلا تسقط أمطار فى منطقة المنابع أو على الحوض. وتتناقص سرعة النهر عندما يمر ببحيرة متسعة فتتوزع مياهه فيها وتضمحل سرعة تياره، أو حينما يدخل فى منطقة سهلية هينة الانحدار، أو كان هناك انحناء فى المجرى ينتج عنه اعتراض إحدى ضفتى النهر للتيار. ويؤدى كل ذلك إلى انتخفاض واضمحلال قوة وطاقة النهر على حمل ونقل حمولته فيتخلص من جزء منها حتى يستطيع مواصلة جريانه نحو مستوى القاعدة.

ويلقى النهر بحمولته من المواد الغليظة كالحصى والحصباء والرمال الخشنة فى أول مرحلة من مراحل الارساب ويكون إرسابها فى مجرى النهر نفسه أو على جوانبه، ولا يقتصر إرساب هذه المواد الخشنة على جهة معينة من وادى النهر دون الأخرى، ولكن يتم إرساب معظمها فى العادة فى الأحباس العليا للنهر. وفى مرحلة أخرى من مراحل الارساب يلقى النهر بحمولته من المواد الناعمة والدقيقة ثم الأدق كالرمال الناعمة ثم الطفل ثم الغرين وينشرها فوق أرض الوادى فى الفترات التى تفيض فيها مياهه فتتكون بذلك طبقة من الغرين تكون أعظم سمكاً فى المناطق التى تمتد قريبة من جانبى المجرى. أما المناطق المتاخمة للمجرى فتترسب المواد الخشنة نسبياً مثل الرمال المتوسطة والناعمة ويتكون منها الجسور الطبيعية. وتتعدد الظاهرات الجيومورفولوجية التى تنتج عن عملية الارساب والتى من أهمها :

١- السهول الفيضية Flood Plains:

وهى الأراضى المستوية التى قام النهر ببنائها برواسبه. وينشأ السهل الفيضى فى أول الأمر نتيجة لانحناء المجرى النهرى وتوسيع الانحناءة النهرية، فينحت النهر فى الجانب الخارجى ويرسب فى الجانب الداخلى من الانحناءة، ويصحب هذه العملية اتساع فى قاع الوادى. وعندما تفيض المياه خارج القناة النهرية فى وقت الفيضان وتغمر الأراضى المجاورة تلقى ما تحمله من رواسب ويتكون سهل مستطيل ضيق يسمى السهل الفيضى أو السهل الرسوبى Alluvial Plain. (شكل ١٠٦).

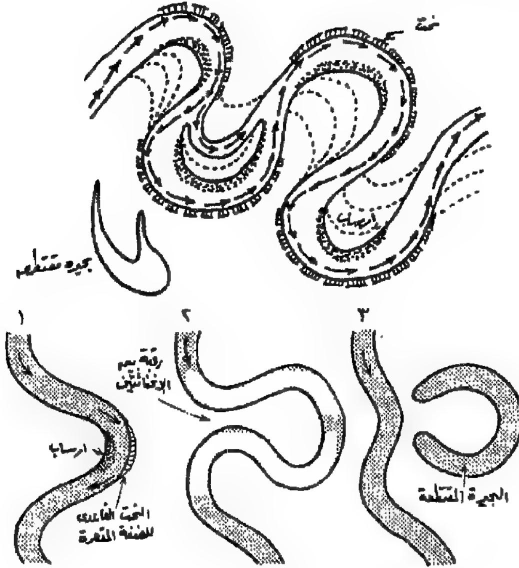


شكل رقم (١٠٦)

الجسر الطبيعي - الحركة الجانبية والحركة الأمامية للانحناءة النهرية ودورهما في بناء السهل الفيضي

٢- البحريات المقتطعة Ox-Bow Lakes:

عند زيادة درجة الانحناء فى المجرى النهرى ونمو الثنيات واستمرار نموها نتيجة لعملية النحت والإرساب الجانبية تقترب أطراف انحنائتين من بعضهما إلى أن تتصلا فى النهاية وتقدم مساراً جديداً قصيراً تجرى فيه مياه النهر بسرعة أكبر مما كانت عليه فيتعمق هذا المسار الجديد بعد فترة ويتكون سد رسوبى يفصل المجرى المنحنى القديم عن المسار الجديد، فيبدو الجزء المهجور على شكل بحيرة هلالية الشكل. وقد تدخلها مياه النهر مرة ثانية فى فترات الفيضان العالي، لكن فى نهاية الأمر لا تصلها المياه وتطمس بعد فترة وتصبح جزء من السهل الفيضى ويميزها منسوبها المنخفض عن مستوى السهل الفيضى المحيط بها. (شكل ١٠٧).

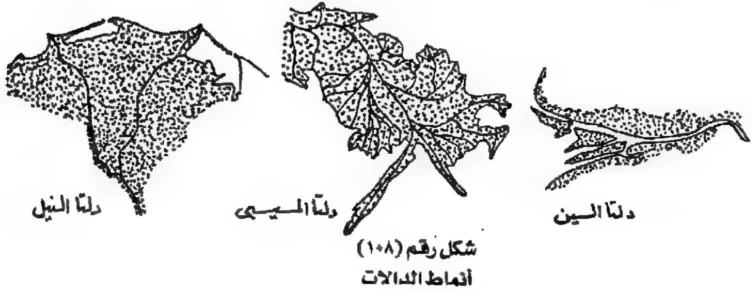


شكل رقم (١٠٧)

الانحناءات النهرية وتكون البحيرة المقتطعة

٣- الدالات Deltas:

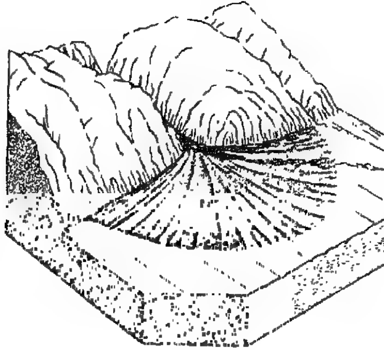
الدلتا هى الارسابات الطينية والطمية والرملية والحصوية التى يلقى بها النهر عند انتهاء قوة المياه وضعف التيار. وتتكون الدالات وتنمو عند مصبات الأنهار على حساب البحار والمحيطات إذ تترسب الرواسب الخشنة أولاً بينما تستمر الرواسب الناعمة فى الجريان حتى تستقر على القاع. ويؤدى اتصال الماء العذب بالماء المالح إلى تجمع الرواسب الطينية الدقيقة فى كتل كبيرة تهبط وتستقر على قاع البحر. وللدلتاوات أشكال متعددة، فدلتا النيل ذات الشكل المثلثى التى تشبه الحرف الاغريقى دلتا ذات فروع على شكل إشعاعى. أما دلتا المسيسبى فتمثل شكلاً دلتاوياً آخر يشبه قدم الطائر بسبب أصابعها الطويلة الممتدة داخل البحر، وكل أصبع عبارة عن فرع من فروعها. وعندما يصب النهر فى مصب خليجى مستطيل وضيق تسمى دلتا خليجية. ويتوقف تكوين الدالات ونموها على: عمق المنطقة الشاطئية التى يصب فيها النهر، وعلى كمية المواد التى يأتى بها النهر وأخيراً على قوة الأمواج والتيارات التى تؤثر على ما يتجمع فى المنطقة الشاطئية من رواسب. (شكل ١٠٨).



شكل رقم (١٠٨)
أنماط الدالات

٤- الدالات المروحية Alluvial Fans:

عند خروج النهر من منطقة جبلية شديدة الانحدار إلى أرض منبسطة واسعة، فإن هذا التغير الفجائى فى درجة الانحدار يؤدى إلى أن يلقى النهر بحمولته من المواد المفتتة عند مخرجه من المنطقة الجبلية وتبدو هذه المواد المرسبة على شكل مروحة رأسها فى المنطقة التى خرج منها النهر. وهذه الدالات كونتها الأنهار على اليابس بدلاً من أن تكونها فى المنطقة الساحلية. (شكل ١٠٩).



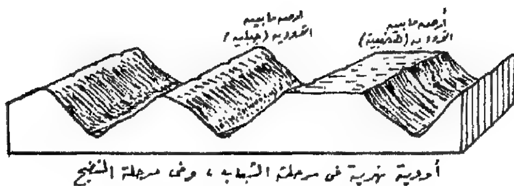
شكل رقم (١٠٩)
مجسم يوضح دلتا مروحية

دورة التعرية النهرية Cycle Of Erosion :

يعتبر وليام موريس ديفيز W. M. Davis أول من عبر عن فكرة دورة التعرية النهرية، وذلك لأن سطح الأرض خاضع لعملية تغير مستمرة بفعل نشاط الأنهار إذ تتعرض المناطق المرتفعة لعمليات النحت والتخفيض، وبالتالى فإن مصيرها إلى الزوال، وتتحول فى النهاية إلى أرض منخفضة. وتمر أشكال سطح الأرض الخاضعة لعمليات التعرية النهرية، وكذلك عامل التعرية نفسه – النهر – بمراحل تطورية متميزة هى: الشباب، النضج، الشيخوخة. (شكل ١١٠).

١- مرحلة الشباب :

وهى المرحلة التى تتكون فيها المجارى النهرية وتنشط فى نحت التكوينات الصخرية وإزالتها، وتكثر الانهيارات والانزلاقات على المنحدرات. وتتصف الأودية فى هذه المرحلة بأنها عميقة شديدة انحدار الجوانب وتأخذ شكل حرف V، وتنمو الروافد الجانبية بسرعة كما تتصف المجارى النهرية بشدة انحدارها ومناطق تقسيم المياه تأخذ الشكل الهضبى وتضيق باستمرار حتى تبدو فى نهاية هذه المرحلة على شكل حواف مرتفعة.



أودية نهرية في مرحلة الشباب ، وفي مرحلة النضج



وادي نهري في مرحلة الشيخوخة المبكرة

شكل رقم (١١٠)

مراحل تطور الوادي النهري

٢- مرحلة النضـــج :

تستطيع المجارى المائية فى هذه المرحلة هدم الحواف المرتفعة الفاصلة بين أوديتها فتأخذ شكل الضلوع والقمم الجبلية، ثم يقل منسوبها بالتدريج. ويقل الانحدار العام للمجرى النهرى ويتصف بالانحناء. كما يظهر قاع للوادى يبلغ اتساعه اتساع الانحناءة النهرية. أما الأودية فتتقهقر جوانبها وتنفتح بصورة واضحة.

٣- مرحلة الشيخوخة :

نتيجة لاقتراب المجرى النهرى من مستوى القاعدة تظهر فيه الانحناءات النهرية بصورة واضحة التى ينشأ عنها ظاهرة البحيرات المتقطعة، ويتكون للمجرى جسور طبيعية، ويتسع قاع الوادى ويظهر السهل الفيضى بوضوح. أما جوانب الأودية فيزداد تراجعها للخلف وينخفض منسوبها ويقل درجة انحدارها وتتغطى بغطاء سميك من المفتتات. أما أراضى ما بين الأودية فتتحول إلى أرض منخفضة المنسوب مستوية السطح أطلق عليها ديفيز مصطلح السهل التحاتى Peneplain، ويتناثر هنا وهناك فوق هذا السهل التحاتى بعض التلال

التى تعتبر البقية الباقية من أراضى ما بين الأودية المرتفعة والتى قد تتميز بصخورها الأكثر مقاومة لعمليات التعرية، أطلق عليها ديفيز أيضاً تسمية الأعلام الانفرادية Monadnocks.

ثانياً: التعرية البحرية والظاهرات المرتبة بها

تعرف التعرية البحرية بالتعرية الساحلية Coastal Erosion ويقصد بالساحل Coast نطاق اتصال اليابس بالبحر، أما الشاطئ Shore فهو المساحة الواقعة بين حضيض الجروف البحرية وهى الحافات والحوائط الصخرية المشرفة على البحر وأدنى مستوى تصل إليه مياه الجزر، وإذا كان الساحل سهلياً لا تطل عليه جروف فإن الشاطئ هو المساحة المحصورة بين أعلى حد تصل إليه أمواج العواصف وأدنى منسوب للجزر. أما البلاج Beach فهو رواسب الرمال والحصى فوق الشاطئ. ويمكن تعيين خط الساحل Coastline إما بخط الجرف البحرى أو الخط الذى تصل إليه أمواج العواصف. وينقسم الشاطئ إلى جزئين: الشاطئ الأمامى Fore-Shore ويمتد من أدنى منسوب للجزر إلى أعلى منسوب للمد، والشاطئ الخلفى Back-Shore ويمتد من أعلى منسوب للمد إلى خط الساحل.

العوامل التي تتدخل في تشكيل السواحل:

تتدخل فى تشكيل السواحل البحرية والمحيطية عوامل كثيرة أهما:

١- فعل الأمواج وحركات المد والجزر والتيارات البحرية وهى تقوم بوظائف النحت والنقل والارساب فى المناطق الساحلية.

٢- عوامل التعرية الأخرى، إذ أن المناطق الساحلية تتأثر بكل عوامل التعرية المختلفة، فالمياه الجارية تسهم فى تشكيل السواحل بما تحفره من أودية تغمر مياه البحر أجزائها الدنيا فتظهر على شكل مصبات خليجية Estuaries، وبما تجلبه من رواسب تؤدى إلى تقدم الساحل على حساب البحر. ويعتبر الجليد من العوامل المهمة التى تشكل السواحل فى المناطق الباردة.وما ظاهرة الفيوردات إلانتاج الجليد الزاحف وغمر مياه البحر للأجزاء الدنيا من الأودية الجليدية. وتقوم الرياح بما تحمله من رمال بنحت وبرى الصخور ونقل الرمال وتوزيعها على الشاطئ فى أشكال مختلفة أهمها الكثبان الشاطئية. كما تتحكم الرياح فى حركات الأمواج والتيارات الساحلية.

٣- عوامل التجوية والتى تؤدى إلى إضعاف صخور الساحل خاصة التجوية الكيميائية ا لتى تتمثل فى فعل رذاذ الماء المالح، وذرات الملح المتطايرة فى هواء تلك المناطق.

٤- طبيعة الساحل من حيث خصائصه الطبوغرافية، مرتفع شديد الانحدار أو منخفض هين الانحدار، مستقيم أو متعرج، وأيضاً من حيث خصائصه الصخرية نوعاً ونظاماً أى نوع الصخور ومدى تجانسها أو تباينها ودرجة مقاومتها لعوامل التعرية وكذلك تركيبها أى أوضاع طباقتها وما بها من شقوق وفواصل وتصدعات تؤدى إلى نشاط التعرية وتوغل مياه البحر على امتداد الصدوع فتتكون جروف ساحلية يتفق اتجاهها وتعرجاتها مع امتدادات الصدوع.

٥- الحركات الباطنية البطيئة التى تنعكس على شكل حركات رفع أو خفض مما يؤدى إلى تغيرات فى المستوى النسبى بين اليابس والماء والتى تنعكس فى شكل طغيان البحر على اليابس أو انحساره عنه.

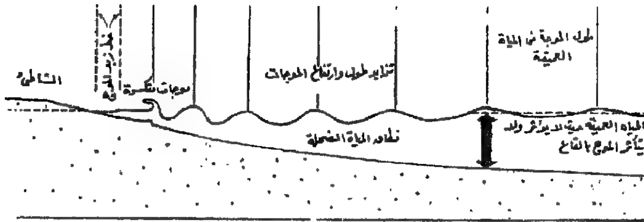
دور الأمواج في تشكيل السواحل:

تنشأ الأمواج عادة من هبوب الرياح وتأثير احتكاكها بسطح المياه، غير أن الأمواج قد تنشأ بتأثير حركات المد والجزر، كما تنشأ من تأثير الزلازل والثوران البركانى فى قاع المحيط. ولكل موجة ارتفاع يقاس من قاعها إلى قمتها، ولها طول وهو المسافة بين قمتها وقمة الموجة التالية، ولها مدة وهى الفترة الزمنية بين لحظتى مرور قمتين متتاليتين بنقطة معينة.

وتعد الأمواج أقوى الحركات المائية تأثيراً على السواحل، فعلى الرغم من أن حركات التيارات البحرية لها أدوار معروفة إلا أنها لا تقارن بقوة الأمواج، إذ تقدر القوة الناتجة عن ارتطام الأمواج بالشواطئ بما يتراوح بين ٣٠٠٠، ٣٠٠٠٠ كيلو جرام على المتر المربع الواحد. وجدير بالذكر أن كتلة المياه لا تتحرك ولا تنتقل مع الموجة ولكن الذى ينتقل هو الطاقة الدافعة. فجزيئات الماء تتحرك فى مسار دائرى أو بيضاوى يتعامد على خط مرور الموجة ثم تعود قريباً جداً من مكانها الأصلى.

وتنشأ أعظم الموجات فى المحيطات لاتساع مجالها الذى يعبر عنه بطول الامتداد وهو المسافة التى تقطعها الأمواج مدفوعة برياح دائمة الهبوب فى اتجاه واحد دون أن يعترضها عائق، وكلما كبر امتداد الأمواج كلما ازداد طولها

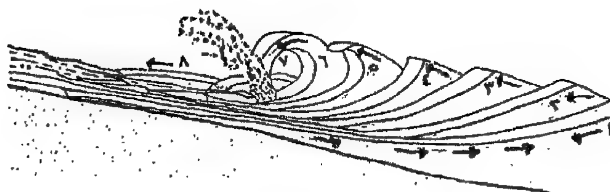
وارتفاعها. وأطول موجة محيطية جرى قياسها بلغ طولها ١١٣٠ متراً، وأعظم ارتفاع كان ٢٢م وذلك أثناء عاصفة هاريكان فى غرب المحيط الأطلسى عام ١٩٦١ (شكل ١١١).



شكل رقم (١١١)

يتغير شكل الأمواج عند دخولها منطقة المياه الضحلة وتقدمها نحو الشاطئ، ثم تتشكل الأمواج المتكسرة

وترتبط حركة الأمواج فى تقدمها وتقهقرها بالنطاق الضحل من الشاطئ، فعند تقدم الأمواج من الشاطئ تقل قوتها وتتباعد قممها ويزداد ارتفاعها كما تزداد حدتها وتصبح أمواجاً كاسرة Breakers ويرتفع سطح الماء ومن ثم تندفع كتل المياه فوق الشاطئ فى حركة تعرف باسم تقدم البحر Swash وتمتد صفحة من الماء المضطرب ذى الزبد. وتدفع هذه الموجة إلى الشاطئ بالرمال والحصباء، وعند ذلك تستنفد الموجة قوتها على صخور الشاطئ ترتد صوب البحر وعند تراجعها ينخفض سطح الماء ويطلق عليها تعبير تراجع البحر Back Wash. ويقابل احتشاد المياه على الشاطئ حركة مضادة للمياه فى هيئة تيار رجعى قاعى أى نحو البحر يعرف باسم تيار السحب Undertow Current وهو يقوم بجرف بعض الرواسب الشاطئية نحو البحر (شكل ١١٢).



شكل رقم (١١٢)

يتولد عن الأمواج المنكسرة موجة عاتية تتقدم نحو الشاطئ، ثم تعود المياه على شكل تيار رجعي سفلي تحت تأثير عامل الجاذبية الأرضية

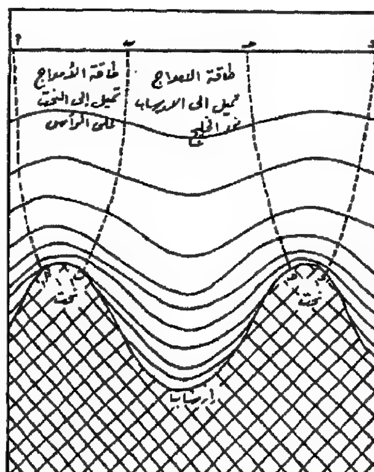
وتدفع الرياح الأمواج نحو الشاطئ، ويتقرر مدى ارتفاعها وطاقتها بقوة الرياح التى تسوقها وأيضاً بطول امتدادها التى يقرها عرض المسطح البحرى واتجاه الساحل بالنسبة لاتجاه الرياح. والأمواج الأقدر على القيام بعمليات التعرية هى أمواج العواصف التى يعادل تأثيرها فى تشكيل السواحل خلال يوم واحد ما تستطيعه الأمواج السائدة العادية خلال عدة أسابيع. وأمواج العواصف التى يبلغ معدل ترددها من ١٢ إلى ١٤ موجة فى الدقيقة لها تيار سحب (ارتداد) قوى يجرف معه ناتج عملية النحت من حصباء ورمال لذا فهى تعرف بالأمواج الهدامة Destructive. أما الأمواج متوسطة القوة التى يبلغ معدل ترددها من ٦ إلى ٨ موجة فى الدقيقة فإنها تتسم بقوة دافعة نحو الساحل تفوق قوة السحب والارتداد التى يعرقلها الاحتكاك بالقاع وامتصاص رواسب الشاطئ لجزء منها، ولهذا فإن مقدار ما تدفعه نحو الشاطئ من حصى ورمال يفوق مقدار ما تجرفه معها نحو البحر وذا تسمى بالأمواج البناءة Constructive.

وتعمل الأمواج كعامل نحت بطرق متعددة :

١- الفعل الهيدروليكى Hydraulic Action لكتل المياه ذاتها التى تعمل على تحطيم الصخور حينما تصطدم بها. وينضغط الهواء داخل الشقوق والفواصل نتيجة دفع المياه، وحينما ترتد الموجة يتمدد الهواء فى الشقوق فجأة فيؤدي ذلك إلى انفجار عنيف. وعندما تتوالى تلك العملية تتحطم الصخور وتتآكل الجروف.

٢- الفعل التحاتي Corrasive Action الذى يمارسه الحطام الصخرى حين يصطدم بأسافل الجروف ويقوضها من أسفل Undercutting فتنشأ جروفاً معلقة تأثر فيها عوامل التجوية والتعرية الأخرى فتنهار إلى أسفل.

٣- الفعل الاحتكاكى Attrition Action حينما تتصادم مكونات الحطام الصخرى بعضها ببعض حين تدفعها مياه الأمواج نحو الساحل وحين تسحبها نحو البحر وتبعاً لذلك ينحت مكونات الحطام الصخرى بعضه بعضاً، ويقع حصى الشاطئ تحت خضخضة وسحق عنيف مستمر أثناء الأمواج العاتية. كما يصطدم هذا الحصى بالجروف فيزداد تآكلاً. (شكل ١١٣).



شكل رقم (١١٣)
نشاط وفعل الأمواج علي الشاطئ المتعرج

٤- الفعل الكيميائى Chemical Action الذى تمارسه مياه الأمواج فى صخور الشاطئ خاصة عند تكون جيرية التى تقبل عمليات الكربنة والإذابة خاصة أثناء الليل عند انخفاض درجة حرارة مياه البحر مما يساعد على إذابة ثانى اكسيد الكربون ومن ثم زيادة حامضية المياه وتبعاً لذلك تزيد من قدرتها على إذابة الصخور الجيرية. ويساعد إفراز النباتات البحرية لغاز ثانى اكسيد الكربون بالليل على زيادة حامضية مياه البحر فى ذلك الوقت. وتستطيع مياه البحر أن تؤثر على معادن صخور الأورثوكلاز والهورنبلند والبازلت والأوبسيديان فتتحلل بسرعة تفوق ١٤ مرة سرعة تحللها بالمياه العذبة.

دور المد والجزر في تشكيل السواحل:

يتحرك سطح البحر بين ارتفاع وانخفاض مرتين فى اليوم الواحد، وتبدو هذه الحركة واضحة بجوار الساحل. وارتفاع سطح البحر يعرف بالمد وانخفاضه يعرف بالجزر، ويقدر مدى الحركة بالمسافة الرأسية بين مستوى المياه فى الحالتين. وتستجيب مياه البحار والمحيطات جميعها للقوى التى تحدث المد والجزر سواء منها العميق أو الضحل، وهى بهذا تختلف عن قوة الأمواج التى تحدثها الرياح والتى لا يتعدى تأثيرها فى أقصى حدتها عن ١٠٠ قامة عمقاً.

ويحدث أعلى مد وأدنى جزر مرتين فى الشهر العربى عندما يكون القمر فى طور المحاق وفى طور البدر. ويتباين مدى ارتفاع المد تبايناً كبيراً فى مختلف بحار العالم تبعاً لطبيعة خط الساحل وتعرجاته واتجاهه بالنسبة لموجة المد.

وتمارس تيارات المد والجزر تأثيراً تحاتياً قوياً فهى تستطيع حفر قنوات فوق قاع البحر تعرف بقنوات المد والجزر كما تستطيع نقل وإرساب الحصى البحرى حتى عمق يصل إلى ٢٢ قامة بحرية.

دور التيارات البحرية في تشكيل السواحل:

تتحرك المياه السطحية للبحار والمحيطات فى صورة تيارات مائية، وتنسب هذه الحركة إلى الرياح الدائمة وإلى اختلاف طبيعة كتل المياه من حيث درجة حرارتها ودرجة ملوحتها وكثافتها وتعرف هذه القوى جميعها بالقوى الارشميدية، وإلى دوران الأرض حول محورها التى تولد قوة انحرافية تعرف

بقوة كوريولى. والتيارات البحرية بطيئة الحركة وتقوم بدور محدود فى تشكيل السواحل، ولكنها تستطيع تحريك وحمل المواد الناعمة التى تصادفها فى طريقها بجوار الشواطئ وتنقلها إلى حيث ترسبها فى منطقة شاطئية أخرى. ولهذه العملية أهميتها حيث أنها تزيح نتاج تعرية الأمواج وتكشف أساقل الجروف حتى تتعرض لغزو جديد للأمواج.

دور طبيعة الساحل :

يتوقف مدى استجابة السواحل لتأثير التعرية البحرية على صلابة الصخور ومقدار ما بها من فواصل وشقوق، ويعظم فعل التعرية فى الصخور الهشة اللينة، وتتراجع الجروف الساحلية المتكونة من صخور لينة بمعدل يتراوح بين ٣ و ٦م فى السنة. أما الجروف التى تتكون من صخور هشة مثل الجروف التى تتكون من الرماد البركانى فإن معدل تراجعها السنوى يصل إلى ٤٥ متراً تقريباً. ولكى تستمر التعرية فى عملها بالمعدلات السابقة ينبغى أن تنقل المواد المفتتة أولاً بأول حتى لا تتراكم مكونة لشاطئ رسوبى وتعمل على تبديد طاقة الأمواج. وتعمل التيارات البحرية الساحلية على تحريك تلك المواد وتنظيف قواعد الجروف. أما بالنسبة للصخور الصلبة والتى بها فواصل فيلاحظ أن لتلك الفواصل أهمية كبيرة فهى تسمح بنفاذ فعل مياه البحر وتتسع وتتحول بالتدريج إلى مداخل ضيقة وعميقة. وقد تكبر الشقوق وتتسع بفعل البحر عند قواعد الجروف وتتحول إلى كهوف وأنفاق. ويلعب نمط توزيع الشقوق والفواصل دور واضح فى تشكيل الجروف البحرية.

ولطبيعة ترتيب الطبقات الصخرية واتجاه ميلها نحو البحر أو نحو اليابس أثر فى تشكيل السواحل. فعندما ترتكز صخور صلبة فوق طبقة من صخور لينة يساعد ذلك على حدوث انهيارات أرضية واسعة نتيجة سرعة تآكل الطبقات اللينة السفلى بفعل الأمواج وتكسر الكتل الصخرية الصلبة وانهيارها من فوقها. أما عند حدوث العكس فإن الطبقات الصلبة السفلى تقاوم فعل التعرية البحرية وتظهر على شكل جرف يعلوه منحدر خفيف. وعندما تميل الطبقات الصخرية نحو البحر وتنهار الصخور وتتراجع الجروف تظهر جروف بحرية عالية ويزداد ارتفاعها بزيادة تراجعها للخلف. أما عندما تميل الطبقات الصخرية نحو اليابس فعند تراجعها بالانهيار تظهر حافات بحرية يقل ارتفاعها مع زيادة تراجعها للخلف.

ولارتفاع الجروف أثر في درجة تآكلها وتراجعها نحو اليابس، فالجروف محدودة الارتفاع تتراجع بسرعة أكبر من الجروف الأكثر ارتفاعاً. ويرجع ذلك إلى أن مقدار المواد المنحوتة والمنهارة من الجرف محدود الارتفاع أقل من الجرف الأكثر ارتفاعاً، ويتراكم الحطام الصخرى المنهار عند حضيض الجرف فيحميه من فعل الأمواج. ولكي تمارس الأمواج فعلها لابد أن تفتت الحطام الصخرى المتراكم إلى حبيبات ذات أحجام تستطيع تحريكها وإزالتها أولاً ولا شك أنها تنجز عملها هذا في حالة الجرف المرتفع في فترة زمنية أطول.

دور التغيرات في المستوى النسبي لسطح البحر بين اليابس والماء :

يقصد بمنسوب سطح البحر المستوى العام لسطح مياهه ويتغير هذا المنسوب ارتفاعاً أو انخفاضاً تبعاً لتغير منسوب اليابس أو قاع البحر أو كليهما معاً. فعند ارتفاع اليابس أو انخفاض قاع البحر ينخفض منسوب سطح البحر وتنحسر المياه عن اليابس، وعند انخفاض اليابس أو ارتفاع قاع البحر يرتفع منسوب سطح البحر فتغمر مياه البحر اليابس المجاور. ويتمخض عن هذه الحراكة النسبية انحسار البحر عن اليابس أو طغيانه على اليابس. وتسمى هذه الذبذبة في مستوى سطح البحر بالحركات الأيزوستاتية لمستوى سطح البحر. وهناك ذبذبات في مستوى سطح البحر ارتفاعاً وانخفاضاً ترجع إلى التغير في الظروف المناخية. ففي العصر الجليدى تحتجز كميات ضخمة من المياه المتبخرة عن أسطح البحار والمحيطات والتي تسقط على اليابس على شكل ثلوج تتراكم عام وراء عام ولا تعود تلك المياه إلى البحر مرة أخرى حتى تكتمل الدورة الهيدرولوجية، وترتب على ذلك انخفاض في منسوب سطح البحر العالمى يتراوح بين ١٠٠، ١٥٠ متراً خلال الأدوار الجليدية في العصر الجليدى وحدث انحسار بحرى عن اليابس. وفي أثناء تراكم الثلوج على شكل جليد بسمك عظيم فوق اليابس انخفض منسوب اليابس نتيجة ضغط وثقل الجليد. وعند تغير الظروف المناخية وارتفاع درجة الحرارة ينصهر الجليد ويعود إلى البحر مرة أخرى على شكل مياه فيرتفع مستوى سطح البحر ويحدث غمر بحرى لليابس المجاور ولكن بعد فترة زمنية يرتفع منسوب اليابس بعد انزياح الجليد وزوال ضغطه فيحدث انحسار بحرى محدود. وتسمى هذه الذبذبات في مستوى سطح البحر الناجمة عن التغيرات المناخية بالحركات الإيوستاتية. ويعتقد أن الغطاءات الجليدية المتبقية فوق يابس الأرض ما تزال تختزن مياهاً تكفي لرفع منسوب سطح البحر العالمى بنحو ٥٠ متراً. ويقدر معدل الارتفاع الإيوستاتى في مختلف

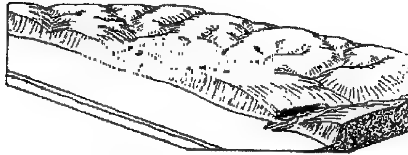
بحار العالم فى الوقت الحاضر بما يتراوح بين ١,١٢ و ١,١٨ ملليمتراً فى السنة وهو معدل كبير نسبياً. وسواء كان التذبذب فى مستوى سطح البحر يرجع إلى حركات أيزوستاتية أو إلى حركات إيوستاتية أو اليهما معاً، فإنه ينجم عنه تغير فى المستوى النسبى لسطح البحر بين اليابس والماء.

ويؤثر التذبذب فى منسوب سطح البحر بالنسبة لليابس فى شكل الساحل بصفة عامة. فعندما يرتفع مستوى سطح البحر يحدث غمر بحرى ويسمى الشاطئ بالشاطئ المغمور، وإذا كانت الأودية النهرية تقطع اليابس قبل غمره فإن الساحل الجديد يسمى بساحل الريا Ria أى ساحل الخلجان والرءوس فالأودية النهرية تصبح خلجاناً عميقة والتلال القديمة تصبح جزراً، وأراضى تقسيم المياه تصبح رءوساً ضاربة فى الماء أو أشباه جزر. وإذا كانت الأودية الجليدية تقطع اليابس فإن الساحل بعد الغمر يتميز بالفيوردات ذات الجوانب شديدة الانحدار والتى تتوغل فى اليابس لمسافات بعيدة وأيضاً بالعمق الكبير. أما حين ينخفض مستوى سطح البحر يحدث انحسار بحرى ويظهر شاطئ جديد من تحت سطح الماء ويعرف بالشاطئ الانحسارى، ويبدو على شكل أرض شبه مستوية وتنحدر انحداراً هيناً نحو البحر، ويظهر خط الساحل على شكل خط مستقيم تقريباً.

ظاهرات النحت البحري :

١- **الجروف البحرية Sea Cliffs**: الجرف عبارة عن منحدر رأسى أو شبه رأسى تقريباً يشرف على سطح البحر ويمتد أسفل مستوى سطح البحر. وعادة يمتد عند قاعدة الجرف رصيفاً بحرياً صغيراً يقع تحت مستوى سطح البحر يسمى برصيف البرى Abrasion Platform وقد يظهر فوق مستوى سطح المياه فى أوقات الجزر. وتجرف أمواج البحر فتات الحطام الصخرى المنهار من أعلى الجرف ولا تسمح بتراكم الرمال والحصى، وتعمل الأمواج على تحطيم الكتل الصخرية المتساقطة وتسحقها إلى فتات تجرفه معها عند عودتها للبحر. وبذلك تنكشف قواعد الجرف البحرى أمام الأمواج فتواصل فعلها فيه وتتكون فجوات وكهوف ثم ينهار الجزء العلوى. وهكذا يصبح رصيف البرى متسعاً ولا يغطى الماء حده الداخلى إلا فى أوقات المد أو العواصف وقد يوجد أمامه شاطئ من الرمال الخشنة أو الحصى ولكن لا تلبث أن تحملها الأمواج العالية. ويتراجع الجرف البحرى للخلف واتساع رصيف البرى الذى يصبح على شكل سهل تتبدد طاقة الأمواج بالاحتكاك به وأيضاً تتبدد بحمل الرمال وفرشها فوق

الشاطئ ومن ثم تقل هجمات الأمواج للجرف إلا فى ظروف العواصف الشديد (شكل ١١٤).



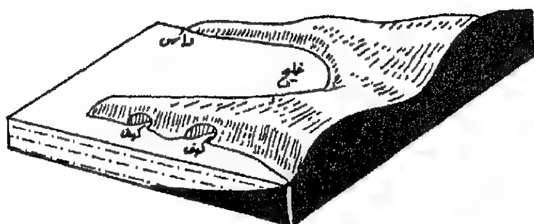
شكل رقم (١١٤)

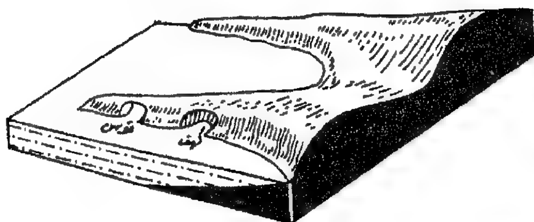
عند تراجع الحافة الساحلية بسرعة تظهر الأودية المعلقة، ولكن الأودية النهرية الكبيرة يمكنها أن تنتهي إلي سطح البحر بصورة متوافقة كما في أقصي يمين الشكل

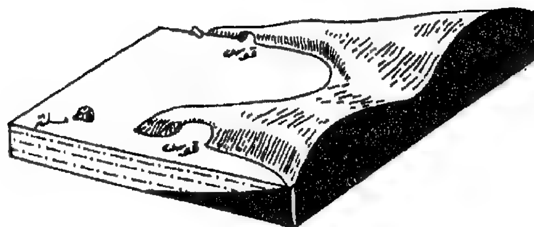
٢- الكهوف Caves والأقواس Sea Arches والمسلات البحرية Sea Stacks :

وهى ظاهرات ثانوية تنشأ بفعل الأمواج أثناء عمليات تكوين الجرف البحرى. والكهوف عبارة عن فجوات متعمقة حفرتها الأمواج في السواحل الصخرية، ويساعد على تكونها وجود شقوق وفواصل وأسطح طباقية أو وجود طبقة لينة فى متناول الأمواج. ويبدو الكهف على هيئة نفق يمتد داخل الجرف متتبعاً خط الضعف الصخرى ويتناقص قطره بالتدريج بالتعمق فيه. وإذا تصادف وجود شق رأسى داخل الكهف فإنه يتسع بمرور الوقت ثم ينفتح إلى سطح الجرف البحرى، وتسمى هذه الفتحة الرأسية بالثقب الانفجارى Blow Hole، وتنبثق المياه منه مندفعة إلى أعلى الجو عند دخول مياه الأمواج واندفاعها بقوة داخل الكهف. وبمرور الزمن مع استمرار فعل الأمواج يتسع الكهف وينهار سقفه ويظهر بذلك مدخل Inlet فى الجرف طويل وضيق.

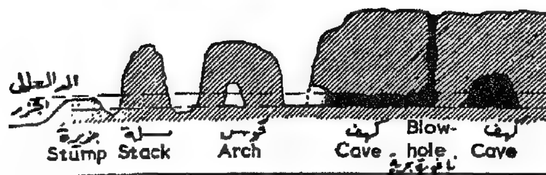
وتنشأ الأقواس البحرية حينما يمتد اليابس فى هيئة رأس أو لسان فى البحر فتنحت الأمواج فى كلا جانبيه كهوفاً لا تلبث أن يتصل منها كل كهفين متقابلين فيتكون بذلك قوس، وكلما ازداد اتساع القوس ضعف الجزء العلوى منه ثم ينهار وتظهر نهاية الرأس أو اللسان المتبقية فى البحر قائمة على شكل عمود صخرى يعرف باسم المسلة البحرية (شكل ١١٥).

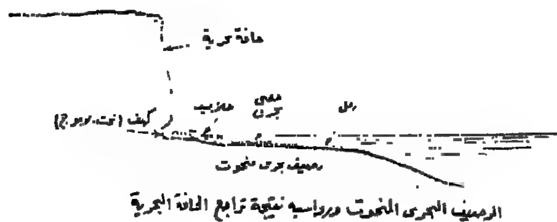






شكل رقم (١١٥أ)
الكهوف والأقواس والمسلات البحرية





الرصيف البحرى المنحوت ورواسبه نتيجة تراجع الحافة البحرية



شكل رقم (١١٥ ب)

الظاهرات الناتجة عن تراجع الحافة الساحلية صوب داخل اليابس

ظاهرات الارساب البحري :

تجد المواد التى نحتتها الأمواج مستقرها الأخير فى البحر. فالمواد الخشنة تتحرك جيئة وذهاباً نحو اليابس ونحو البحر وقد تترسب فى مكان ما على الشاطئ ولكن تعود الأمواج فتحركها فتحتك بعضها ببعض وتطحن ويتضاءل حجمها إلى حبيبات رملية ثم حبيبات دقيقة تحملها الأمواج معها إلى البحر حتى ترسبها فى النهاية. ويقوم البحر بتصنيف حمولته من الرواسب، فبالاتجاه من خط الساحل نحو البحر يلاحظ تتابعاً يبدأ بالجلاميد فالحصى فالحصباء فالرمال ثم الطين ويقوم البحر ببناء ظاهرات إرسابية بتلك المفتتات هى :

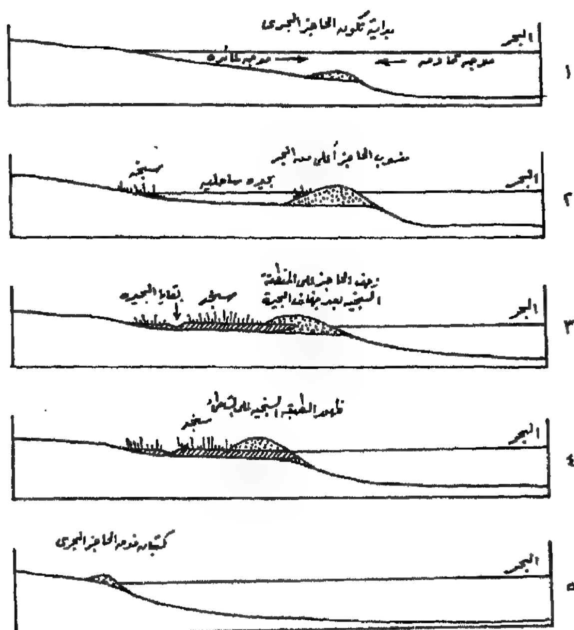
١- الشواطئ الرملية والشواطئ الحصوية :

وتتكون من المواد التى تنحتها وتنقلها الأمواج من جروف الشاطئ وتلقى بها فى المياه الشاطئية. ويتزايد تراكم الرواسب ويزداد ارتفاعها حتى تظهر فوق سطح المياه، وتصبح جزءاً من الشاطئ وتتكون هذه الرواسب من مواد صخرية مختلفة الأحجام أهمها الحصى والرمال وهى تزداد خشونة بالإتجاه نحو الجرف حتى أنها تتكون من كتل جلاميدية عند أقدام الجرف ولكنها تتصف بالاستدارة نتيجة عمليات النقل التى تحدث عندما تحتك بها الرمال أثناء تقدم الموج وتقهقره، ويطلق على هذه الشواطئ التى تسود فيها هذه المواد الخشنة بالشواطئ الحصوية Shingle Beaches ، أما الشواطئ الرملية Sand Beaches فتتكون فى السواحل المقعرة والخلجان وجوانب الجزر التى تقع فى الجانب المظاهر للرياح.

٢- الحواجز البحرية Sea - Bars :

وهى عبارة عن أشرطة من الرواسب الرملية التى تتكون فى المياه الشاطئية الضحلة، وتكون غالباً موازية للساحل وتكون مغمورة تحت الماء فى أول الأمر ثم تظهر على السطح أثناء انخفاض مستوى سطح البحر فى حالة الجزر أو هدوء الأمواج فتعمل على اصطياد كميات من الرمال التى تحملها الرياح وتنمو بها بعض النباتات العشبية التى تعمل على تثبيتها واصطياد كمية أكبر من الرمال فيرتفع منسوبها تدريجياً حتى يصل إلى منسوب أعلى من أعلى منسوب تصل إليه مياه البحر، كما تنمو تلك الحواجز نحو البحر بواسطة الرمال التى تضطر الأمواج إلى إلقائها عند تكسرها فى المياه الضحلة أمام الحاجز، وقد تتصل تلك الحواجز بالشاطئ فتحصر بينها وبينه بحيرات بحرية مقفلة تعرف

باللاجونات أو البحيرات الشاطئية Lagoons وبمرور الوقت تردم تلك البحيرات أما بالرواسب الهوائية أو بما تلقيه المجارى المائية التى تنتهى إليها من رواسب فيتصل الحاجز البحرى باليابس المجاور، وبذلك ينمو اليابس على حساب البحر، ويصبح الحاجز البحرى هو الحافة الشاطئية الجديدة (شكل ١١٦).

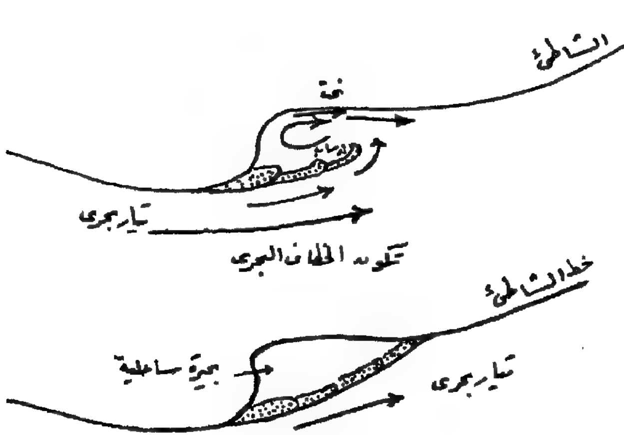


شكل رقم (١١٦)

مراحل تكوين الحاجز البحري والبحيرة الساحلية

٣- الألسنة الرملية Sand Spits:

وهى تشبه الحواجز البحرية فى كونها عبارة عن أشرطة من الرواسب الرملية الممتدة فى البحر، ولكنها تختلف فى طريقة نشأتها فهى تتكون أمام فتحات الخلجان والمصبات الخليجية ويكون أحد طرفيها متصل باليابس وتلعب التيارات الساحلية الدور الرئيسى فى تكوينها (شكل ١١٧).



شكل رقم (١١٧)
تتكون البحيرة الساحلية نتيجة اتصال الخطاف البحري بالشاطئ

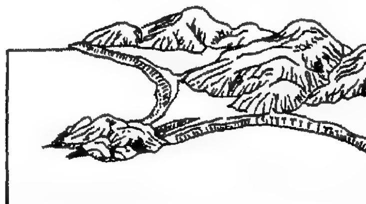
٤- التومبولو Tombolos:

وهى رواسب رملية ارستبها الأمواج على شكل السنة عند تحركها بين اليابس وجزيرة قريبة من الساحل أو بين اليابس وحاجز بحرى (شكل ١١٨).

دورة التعرية الساحلية:

تبدأ الدورة عند ظهور الساحل اصطدام الأمواج به. فإذا كان الساحل صخرياً ومائلاً نحو البحر فإن أول عملية تقوم بها الأمواج هى تكوين فجوات Notches على امتداد قاعدة الحافة الساحلية الذى تشتد فيه نحت الأمواج وهو

المستوى الذى يتفق مع منسوب المد. ويساعد تكوّن هذه الفجوات على ظهور الساحل على شكل جرف شديد الانحدار. ويؤدى استمرار نحت الموج والانهيارات التى تصيب الجزء العلوى من الجرف البحرى إلى تراجع ذلك الجرف إلى الخلف نحو اليابس، ويتكون رصيف صخرى مكان هذا الجزء الذى ترجع يعرف باسم الرصيف البحرى المنحوت Cut - Marine Bensh أو رصيف نحت الموج Wave - Cut Platform وتتراكم المواد الصخرية المفتتة التى جرفتها الأمواج وتيارات السحب ناحية البحر، ويتكون من هذا التراكم الرصيف البحرى المبنى Built Marine Bensh أو مصطبة ارساب الأمواج Wave - Built Terrace وكلما اتسعت تلك المصطبة الارسابية قل عمق المياه وبالتالى قوة الأمواج وقدرتها على النحت. وفى نفس الوقت يتزايد ابتعاد الجرف البحرى الصخرى عن المياه حتى تصل إلى وضع لا تصله الأمواج فينتهى تأثيرها عليه. ولكن هذا الرصيف البحرى بقسميه المنحوت والمبنى لا يستمر ثابتاً على حاله لأن المياه تحاول دائماً أن تجرف الرواسب ناحية البحر خصوصاً عند اشتداد الأمواج فيتناقص اتساعه.



شكل رقم (١١٨)
ظاهرة التومبولو

وهكذا فإن السواحل تمر فى تطورها بمراحل تشبه مراحل التعرية النهرية وهى مراحل الشباب والنضج والشيخوخة. وتبدأ مرحلة الشباب عندما تبدأ الأمواج فى حفر الفجوات الطولية فى الساحل الصخرى وتنتهى بتكون الرصيف البحرى بقسميه المنحوت والمبنى وفى مرحلة النضج يزداد اتساع هذا الرصيف وتتناقص مقدرة الأمواج على النحت والارساب ويأخذ قطاع الشاطئ من الجرف إلى بداية المياه العميقة أمام الرصيف المبنى الشكل المقوس الذى يبدأ

من انحدار محدب عند الجرف البحرى يليه أرض منتظمة وبطيئة الانحدار ثم انحدار مقعر عند مقدمة الرصيف المبنى، وهذه المرحلة تقابل مرحلة التعادل فى تطور القطاعات الطولية للأنهار، أما فى مرحلة الشيخوخة يتآكل الجرف البحرى بواسطة عوامل التعرية وتتراكم الرواسب أمامه. وتكون الحواجز البحرية واللاجونات التى سرعان ما تردم وتتصل الحواجز باليابس، وتظهر منطقة الاتصال على شكل رقبة منخفضة المنسوب إلى حد ما.

وقد تتكرر هذه الدورة أكثر من مرة إما لارتفاع اليابس أو ارتفاع منسوب سطح البحر أو هبوط أى منهما، أو حدوث أكثر من حركة من هذه الحركات فى وقت واحد أى ارتفاع اليابس وانخفاض سطح البحر أو العكس، المهم هو تغير العلاقة بين اليابس والماء والتى تؤدى إلى ظهور خط ساحل جديد تبدأ الأمواج فى الارتطام به وتشكيله مؤذنة ببداية دورة جديدة.

ثالثاً: تعرية المياه الباطنية

(الطبوغرافيا «أشكال سطح الأرض» الكارستية)

تعد حركة المياه أسفل سطح الأرض موضوع هام فى جغرافية التضاريس. ويظهر الماء الباطنى فوق سطح الأرض فى هيئة ينابيع أو يندفع فى هيئة نافورات أو ينشع فيكوّن برك ومستنقعات بل أحياناً تتسع مساحة البركة فتصبح فى هيئة بحيرة. وقد يتم حفر الأرض للوصول إلى المياه الباطنية كما فى الآبار، وقد تندفع المياه من البئر بشدة فتعرف بالمياه الفوارة أو البئر الارتوازية. ويشكل الماء المتسرب خلال الصخور مسالك وقنوات أى ظاهرات تحت سطح الأرض قد تنكشف وتظهر على السطح نتيجة ظروف خاصة، كما يشكل ظاهرات سطحية كالبالوعات بمختلف أنواعها. وترتبط تلك الظاهرات فى تكونها ارتباطاً وثيقاً بعملية التحلل الصخرى.

وتتعدد مصادر المياه الباطنية، فهناك جزء بسيط يوجد فى ا لصخور الرسوبية منذ فترة تكوينها ويعرف بالماء المتبقى Conuate Water، وهناك جزء آخر يأتى عن طريق التحرر أثناء عمليات التمايز فى أفران الماجما ويعرف بالماء الماجماتى Mgmatic or Juvenile water ، وهناك جزء بسيط ثالث مصدره مياه البحار والمحيطات، أما القسم الأكبر من المياه الباطنية فمصدره الغلاف الجوى ويعرف بالماء الجوى Meteoric Water وهو مياه الأمطار ومياه ذوبان الثلوج.

ولكي يتكون المظهر الطبوغرافي الكارستي لابد من توافر ظروف جيولوجية وتضاريسية ومناخية خاصة. وتتمثل الظروف الجيولوجية في أن يكون سطح المنطقة من صخر قابل للذوبان والتحلل مثل الحجر الجيرى أو الدولوميت، وأن يكون على شكل طبقة سميكة ومتماسكة تتركب من طبيقات محدودة السمك فوق بعضها البعض وبه كثير من الشقوق والفواصل. أما الظروف التضاريسية فهي ضرورة وجود أودية نهرية كبيرة منحوتة على منسوب أدنى من منسوب الأرض المرتفعة ذات الخصائص الجيولوجية السابقة، إذ من الضرورى لكي تتسرب المياه إلى أسفل ويكون لها صفة الحركة أن تنصرف هذه المياه في مجرى نهر سطحي. وتتمثل الظروف المناخية في تساقط كمية معتدلة من الأمطار.

مستوى الماء الباطني :

يتحرك الماء المتسرب من خلال الشقوق والفواصل والماء الفائض من طاقة مسام الصخور المسامية نحو باطن الأرض إلى أن يصل إلى طبقة من الصخور الصماء فتتوقف حركته عندها. ويمكن التعرف على ثلاث نطاقات مائية أسفل سطح الأرض هي :

١- نطاق عدم التشبع ويقع أسفل سطح الأرض مباشرة ويمر الماء خلاله ولا يتبقى منه شيء في مسام الصخر.

٢- نطاق التشبع المتوسط ويقع أسفل النطاق السابق وتستطيع مسام وشقوق الصخور الاحتفاظ بالمياه عقب سقوط الأمطار لفترة طويلة ولكنها تجف إذا طالت فترة انقطاع المطر.

٣- نطاق التشبع الدائم ويمتد أسفل النطاق السابق إلى الطبقة الصخرية الصماء التي تكوّن حدود التسرب، ومسام صخور هذا النطاق مملوءة دائماً بالماء. ويسمى السطح العلوى لهذا النطاق بمستوى الماء الباطني أو مستوى التشبع.

ويتبع شكل قطاع مستوى الماء الباطني القطاع التضاريسي لسطح الأرض فوقه إلا أن انحداراته تكون أقل، كما أنه يهبط بالقرب من الأودية حيث تتحرك المياه الباطنية بسرعة أكبر كي تنصرف في مجرى الوادى. وتتحرك المياه الباطنية من الأجزاء التي يكون فيها مستوى الماء الباطني مرتفعاً إلى الأجزاء المنخفضة، ولكن سرعتها أقل من سرعة حركة المياه السطحية نظراً لاحتكاكها بمكونات الصخر.

ظاهرات خروج المياه الباطنية إلى سطح الأرض :

١-الينابيع Springs، حينما تنبثق المياه الباطنية فوق سطح الأرض بصورة طبيعية تسمى ينبوعاً. وقد تتدفق المياه باندفاع وعنف ظاهر، وقد تنز وتنساب فى هدوء. ويرتبط توزيع الينابيع بطبيعة التراكيب الصخرية من ناحية وبالقطاع التضاريسى من ناحية أخرى إذ تنبثق الينابيع عندما يتقاطع سطح الأرض مع مستوى الماء الباطنى. والينابيع منها ما هو دائم عندما تستقى مياهها من خزان جوفى وفير المياه ومتجدد، ومنها ما هو موسمى تنقطع عنها المياه فى فصل الجفاف. وقد تتجاور الينابيع وتنتظم فى اتجاه معين يطلق عليه خط الينابيع.

وتتعدد أنماط الينابيع ولكن أكثرها شيوعاً هى :

(أ) نوع يرتبط بطبقة صخرية منفذة أو مسامية تستقر فوق طبقة صخرية صماء، ويظهر هذا النمط على جوانب التلال والمنحدرات.

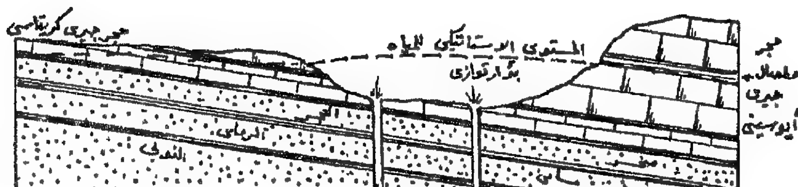
(ب) نوع يرتبط بطبقة صخرية كثيرة الشقوق والفواصل تتسرب خلالها المياه وتنبثق المياه عندما يتقاطع سطح الأرض مع مجرى باطنى على الرغم من مواصلة المياه حركتها إلى أسفل نحو الطبقة الصماء التى تحجزها.

(جـ) نوع يرتبط بوجود قاطع نارى رأسى فى طبقة صخرية مسامية أو منفذة يسد الطريق أمام المياه المتسربة فيرتفع مستوى المياه أمام السد حتى يتلاقى مع سطح الأرض.

٢- الآبار Wells، عبارة عن ثقب يُحفر فى الأرض حتى يصل إلى مستوى الماء الباطنى فتنشع المياه من الصخور إلى البئر ثم ترفع منه إلى سطح الأرض. وتوجد المياه بصفة دائمة فى الابار التى تصل إلى أسفل مستوى الماء الباطنى بمسافة مناسبة. ويسبب استمرار ضخ المياه من البئر بكميات كبيرة انخفاضاً محلياً فى مستوى الماء الباطنى، ويبدو على شكل مخروط يعرف بمخروط الاستنزاف. وقد يجف البئر وعندئذ يجب زيادة عمق البئر باستمرار.

٣- الآبار الارتوازية Artesian Wells، وهى ابار تحفر فى حوض ارتوازى الذى يتكون من طبقة صخرية مسامية محصورة بين طبقتين عليا وسفلى من صخور صماء والطبقات جميعها ملتوية على شكل ثنية حوضية مقعرة، وبحيث تنكشف أجزاء من الطبقة المسامية على سطح الأرض كى تنفذ منها مياه

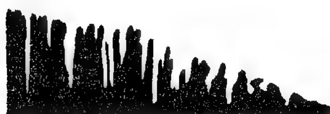
الأمطار وتتسرب حتى تتشبع بالمياه. وتصبح المياه المخزونة فى الطبقة المحصورة تحت ضغط يكفى لرفعها إلى أعلى لتصعد نحو السطح عند حفر البئر وتخرج على شكل مياه فوارة (شكل ١١٩).



شكل رقم (١١٩)
الآبار الارتوازية

ظاهرات سطح الأرض المرتبطة بتعرية المياه الباطنية :

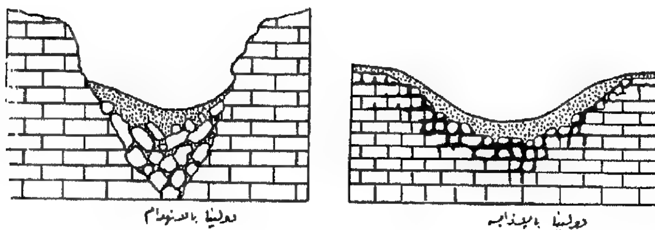
١- **التخرزات الأرضية Lapies**: وهى عبارة عن تجاويف وشقوق غائرة تظهر على سطح الأرض وأودية أو غدران صغيرة ضيقة وعميقة تفصلها عن بعضها أراضى محدودة الاتساع وحادة. وترتبط هذه الظاهرة بالمنحدرات الشديدة، وتنتج عن عملية الإذابة والتحلل الكيميائى بفعل مياه الأمطار الساقطة على مكشف صخرى جيرى عارى فواصله وشقوقه متقاربة لبعضها البعض وشبه موازية أيضاً لبعضها البعض وعارى من الغطاء النباتى (شكل ١٢٠).



شكل رقم (١٢٠)
الضلوع الأرضية الكارستية

٢- **البالوعات الأرضية Sinkholes**: البالوعة عبارة عن منخفض أرض يتباين عمقه من بضعة أمتار إلى عشرات الأمتار أو يزيد، كما تتراوح مساحة البالوعة من بضعة أمتار مربعة إلى حوالى الفدان أو أكثر. والشكل العادى للبالوعة هو الشكل القمعى أو المخروطى قاعدته المتسعة إلى أعلى ورأسه إلى أسفل، ولكى هناك أشكال متباينة للبالوعة غير هذا الشكل.

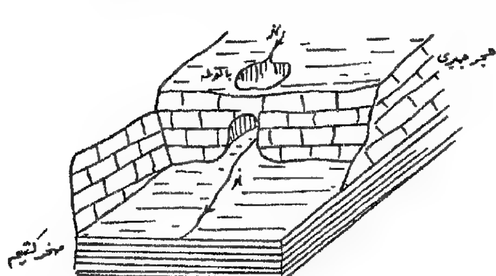
وترجع نشأة البالوعات إلى عاملين رئيسيين إما نتيجة تسرب مياه الأمطار فى الصخر من خلال الشقوق والفواصل عند تقاطعها مما يسهل عملية التحلل والإذابة السطحية المباشرة دون حدوث أى قلقلة ميكانيكية للصخور فيؤدى ذلك إلى ثقوب أو حفر صغيرة تتحول بالتدريج إلى بالوعات قمعية الشكل تعرف ببالوعات الإذابة Solution Sinks. وإما نتيجة سقوط وانهيار القشرة الصخريه فوق تجويف باطنى نشأ أيضاً عن طريق عملية الإذابة الكيميائية وتعرف باسم بالوعات الانهيار Collapse Sinks والتى تتصف جوانبها بشدة الانحدار نتيجة انهيار سقف التجاويف الأرضية. ويستخدم تعبير دولين Doline للدلالة على النوعين حيث أن كليهما قد تكونا بواسطة عملية الإذابة الكيميائية (شكل ١٢١).



شكل رقم (١٢١)
البالوعات الكارستية (الدولينا)

وعندما تزدحم البالوعات فى منطقة ما ويكثر عددها، فإنه نتيجة نمو البالوعة واتساع مساحتها على حساب الأرض التى تفصلها عن البالوعة المجاورة تلتحم تلك البالوعات المتجاورة وتكوّن ما يعرف بالبالوعات المركبة Compound Sinks . وقد يتكون منخفض رئيسى كبير يشغل مساحة كبيرة ويحتوى على العديد من البالوعات.

وهناك نوع من بالوعات الإذابة يتميز بأنه يشغل مساحة أكبر من الدولين وأقل عمقاً منها ويعرف باسم وعاء الإذابة Solution Pan . كما أن هناك نوع خاص من البالوعات الانهيارية يعرف باسم النافذة الكارستية Karst-window وهو عبارة عن جزء من وادى باطنى انهدم سقفه ويمكن رؤية المجرى الباطنى وهو يخرج من كهف إلى المنطقة المفتوحة التى تمثل قاع النافذة الكارستية ثم يدخل ويختفى فى كهف آخر على الجانب الآخر (شكل ١٢٢) .



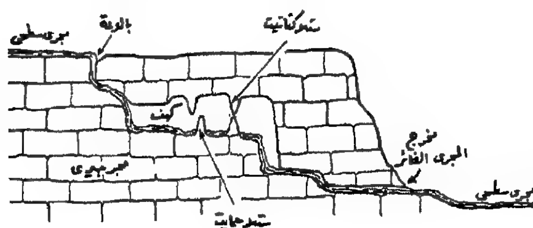
شكل رقم (١٢٢)
النافذة الكارستية

وهناك نوع من البالوعات يعرف باسم الأوفالا Uvala يطلق أحياناً على البالوعات المركبة الضخمة التى تشغل مساحة واسعة وأحياناً يطلق على النافذة الكارستية الضخمة المتسعة. كما أن هناك نوع خاص من البالوعات يعرف باسم بولجى Poljeوهو عبارة عن منخفض ذى نشأة انكسارية أو الدوائية تم تعديله بعمليات التحلل والإذابة الكيميائية، لذا فهو يشغل مساحة ضخمة لها قاع مستوى وجوانب شديدة الانحدار

وعادة ما تجد المياه السطحية التى تنصرف إلى تلك البالوعات طريقها إلى المسالك الباطنية عن طريق التسرب خلال الشقوق والفواصل، وإذا كانت طاقة التسرب أقل من كمية المياه السطحية تتكون بحيرة كارستية Karst Lake أو بركة Sinkhole Pond. وعندما تجف تلك البرك أو البحيرات فى فصل انقطاع الأمطار يلاحظ وجود تربة طينية حمراء اللون تغطى السطح وتضرب بصورة رأسية فى الشقوق والفواصل وتعرف باسم Terra Rossa.

الأنهار الغائرة Sinking Creeks :

تفقد المجارى النهرية التى تتكون فى المناطق الكارستية بطيئة الانحدار مياهها السطحية وتتحول إلى مسالك باطنية وتسمى فى هذه الحالة بالأنهار الغائرة Sinking Creeks. وتسمى النقطة التى يتحول عندها المجرى السطحى إلى مجرى باطنى بنقطة الغور Sink أو Swallow Hole، وقد تختفى تلك النقطة أسفل الارسابات النهرية، كما أن لبعض المجارى الكبيرة نوعاً ما أكثر من نقطة غور واحدة. وقد يصل طول المجرى الباطنى عدة كيلو مترات قبل أن يظهر مرة أخرى فوق سطح الأرض كمجرى سطحى، ويسمى القطاع من المجرى النهرى التى يقع بعد نقطة الغور والذى انقطعت عنه المياه نتيجة اختفاؤها تحت سطح الأرض بالمجرى الجاف Dry Bed. ويمكن أن تجرى المياه مرة أخرى فى هذا القطاع الجاف عقب سقوط أمطار إعصارية غزيرة لا تستطيع معها البالوعات ابتلاعها وتصريفها، ولكنها تعود إلى حالة الجفاف حينما تقل كمية الأمطار وتتمكن البالوعات من تصريف المياه باطنياً (شكل ١٢٣).



شكل رقم (١٢٣)
الأنهار الغائرة

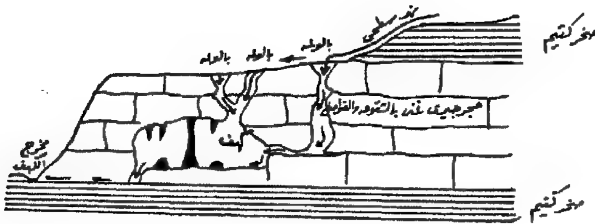
الكهوف والظاهرات الكارستية المرتبطة بها :

الكهف فى المناطق الكارستية هو طريق مائى مهجور تحت سطح الأرض ويمتد امتداداً أفقياً أو رأسياً أو مائلا. وقد يكون بسيطاً أو مركباً يشغل عدة مناسيب (طوابق) تتصل ببعضها عن طريق مسالك رأسية أو مائلة، وقد يشغل عدة كهوف متجاورة (غرف) تتصل ببعضها عن طريق مسالك أو ممرات أفقية. وقد تكون الكهوف جافة أو بها مياه، وعند تكون الكهوف طابقية Galleried Caverns فإن الكهوف السفلى تكون بها مياه بل أن التى تقع تحت مستوى المياه الباطنى تكون مملوءة بكاملها (غارقة) بالمياه. وقد يتسع الكهف لعدة أمتار مربعة أو قد يشغل عشرات الآلاف من الأمتار المربعة. فكهف مجلس الجن بسلطنة عمان تصل مساحته إلى مساحة مطار يستوعب ١٣ طائرة ضخمة فى حجم البوينج الجامبو. وقد يتصل الكهف بسطح الأرض عن طريق فتحة رأسية ضيقة تكاد تتسع لمرور فرد واحد فقط كما فى حالة كهف مجلس الجن، وقد تكون الفتحة واسعة ومائلة كما في حالة كهف الهيت على مسافة ١٨ كيلو متراً جنوب شرق مدينة الرياض بالسعودية، وقد تكون الفتحة واسعة نسبياً وأفقية وتنساب منها المياه كما فى حالة كثير من كهوف الجبل الأخضر بسلطنة عمان. وتترسب على جدران الكهوف وعلى أرضية الجاف منها طين ناعم أبيض اللون وأحياناً مائل للحمرة عبارة عن كربونات كالسيوم .

وبالكهوف الكارستية عديد من الظاهرات لعل أبرزها تراكم كربونات الكالسيوم على شكل طلاء ناصع البياض وأحياناً وردى اللون على أسقفها وحوائطها وأرضياتها تعرف بارسابات الترافرتين Travertine . ومن الظاهرات الهامة الأخرى أعمدة كلسية تتدلى من سقف الكهف نحو أرضيته وتعرف بالأعمدة الهابطة أو النوازل (ستلاكتيت Stalactites) وأعمدة صاعدة من أرضية الكهف نحو سقفه وتعرف بالصواعد (ستلاجمايت Stalagmites)، وقد يلتحم العمود الهابط بالعمود الصاعد ويتكون منهما دعامه Pillar. وتنشأ تلك الأعمدة عن ترسيب كربونات الكالسيوم فى أسقف الكهوف وعلى أرضياتها فوق أو عند نقط متعامدة على مستوى الكهف تنز أو تتساقط منها نقط من المياه الغنية بالكالسيوم الذائب فيها، وحين يجف الماء بسبب البخر تترسب كربونات

الكالسيوم حول النقطة التى فى سقف الكهف وتتراكم كى تكوّن العمود الهابط بالتدريج، أو تترسب كربونات الكالسيوم عند النقطة التى تسقط عليها فوق أرضية الكهف وتتراكم كى تكوّن العمود الصاعد، ولذلك اقترح البعض تسمية تلك التكوينات بـ Dripstone(شكل ١٢٤).

وهناك ظاهرة أخرى توجد بالكهوف الكارستية وهى عبارة عن كومات من الفتات الصخرى ترتفع فوق أرضية الكهف. وهذا الفتات الصخرى عبارة عن قطع صخرية من مكونات الأعمدة النازلة والأعمدة الصاعدة، ويرتبط وجود تلك الكومات بالحجرات الكهفية المتسعة ذات السقف المرتفع الذى يتدلى منه الأعمدة النازلة. وتشير تلك الكومات إلى وجود حجرتين كهفيتين فوق بعضهما البعض يفصلهما سمك محدود من الحجر الجيرى، وقد انهارت الحجرة العليا فوق الحجرة السفلى أى سقطت أرضيته الحجرة العليا والتى هى فى نفس الوقت سقف الحجرة السفلى فوق أرضية الحجرة السفلى، ونتج عن هذا الانهيار تلك الكومات من الفتات الصخرى والتى تعرف باسم تلال الانتيكات Monument Mountains. ويتراوح ارتفاع تلك الكومات بين ١٠، ٢٠ متراً.



شكل رقم (١٢٤)

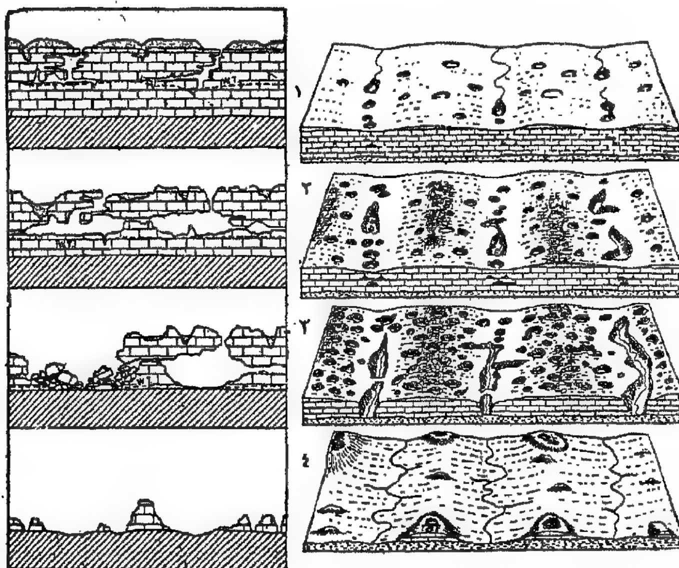
الكهوف والظاهرات الكارستية المرتبطة بها

دورة التعرية الكارستية:

تتميز دورة التعرية الكارستية بالبساطة بسبب بساطة البناء الجيولوجي والتناسق النسبي في عملية التحلل الصخري. ففي المناطق التي تتكون من صخور جيرية مكشوفة مباشرة على سطح الأرض ولا يغطيها إلا راقة رقيقة من تكوينات رملية وحصوية وتنحدر فوقها المجاري المائية نحو مستوى قاعدتها، سرعان ما تتحول تلك المجاري السطحية إلى مجاري باطنية، وتتكون البالوعات بأشكالها المختلفة وتأخذ في الاتساع والالتحام ومن ثم ينخفض مستوى سطح الأرض وتتسع مساحة المنطقة التي تنصرف فيها المياه انصرافاً باطنياً، وتتبقى بعض الأراضي الجيرية فوق منسوب مستوى الماء على شكل تلال تشبه أعلام السهل التحاتي تعرف باسم Hums. ومن ا لصعب تقسيم التغير في شكل سطح الأرض الأصلي إلى مراحل واضحة في هذا التغير البسيط. ولكن يمكن القول أن وجود المجاري المائية السطحية واختفاء أجزاء منها تحت سطح الأرض يشير إلى مرحلة الشباب. أما ظهور البالوعات ونموها واختفاء المجاري السطحية وظهور سهل البالوعات Sinkholes plain فيشير إلى مرحلة النضج. وعندما تظهر التلال الانعزالية Hums وتختفي طبقة الحجر الجيري ويعود التصريف السطحي فيشير ذلك إلى مرحلة الشيخوخة.

وقد تتكون المنطقة من صخور غير قابلة للذوبان مثل الحجر الرملي أو الطفل وترتكز فوق تكوينات من الحجر الجيري السميك الغني بالشقوق والفواصل. وفي هذه الحالة يتكون تصريف سطحي ولا يتحول إلى تصريف باطني ببساطة إلا بعد أن تتعمق المجاري النهرية أو تصيبها عملية تجديد. وفي هذه الحالة تقطع التكوينات العليا الرملية أو الطفلية وتصل إلى الطبقة الجيرية السميكة السفلى، وتبدأ عملية التحول إلى مجاري باطنية وتتكون الأودية الكارستية أو أودية الإذابة ولا يتكون إلا عدد بسيط من البالوعات. ويمثل هذا المظهر بداية الدورة الكارستية. وعندما تمتد الأودية الكارستية على حساب الأراضي الرملية أو الطفلية تظهر التحززات الأرضية Lapiès وتكثر حفر الاذابة ولا يكتمل التصريف الباطني، ويشير ذلك إلى مرحلة الشباب. وفي مرحلة النضج يبلغ التصريف الباطني ذروته ويقتصر التصريف السطحي على بعض المجاري الغائرة التي تنتهي إلى بالوعات أو الأودية العمياء، وتظهر شبكة من الكهوف ويتجلى المظهر الكارستي. وهناك مرحلة بين مرحلة النضج ومرحلة

الشيخوخة تعرف بمرحلة النضج المتأخرة ويميزها بداية زوال الظاهرات الكارستية فتظهر أجزاء من المجارى الباطنية من خلال النوافذ الكارستية التى تمتد وتكبر وتتسع حتى تكاد تظهر المجارى الباطنية بكاملها إلا من أجزاء تظل مختفية وتعرف بالأودية الانهدامية، كما تظهر بقايا السطح الأصلى على شكل تلال انعزالية Hums. أما مرحلة الشيخوخة فتتميز بعودة التصريف السطحى مع وجود عدد من التلال الانعزالية المتبقية. (شكل ١٢٥).



١- البداية ٢- الشباب ٣- النضج ٤- الشيخوخة

شكل رقم (١٢٥)

مراحل دورة التعرية الكارستية

رابعاً: الثلاجات والأنهار الجليدية والظاهرات المرتبطة بها

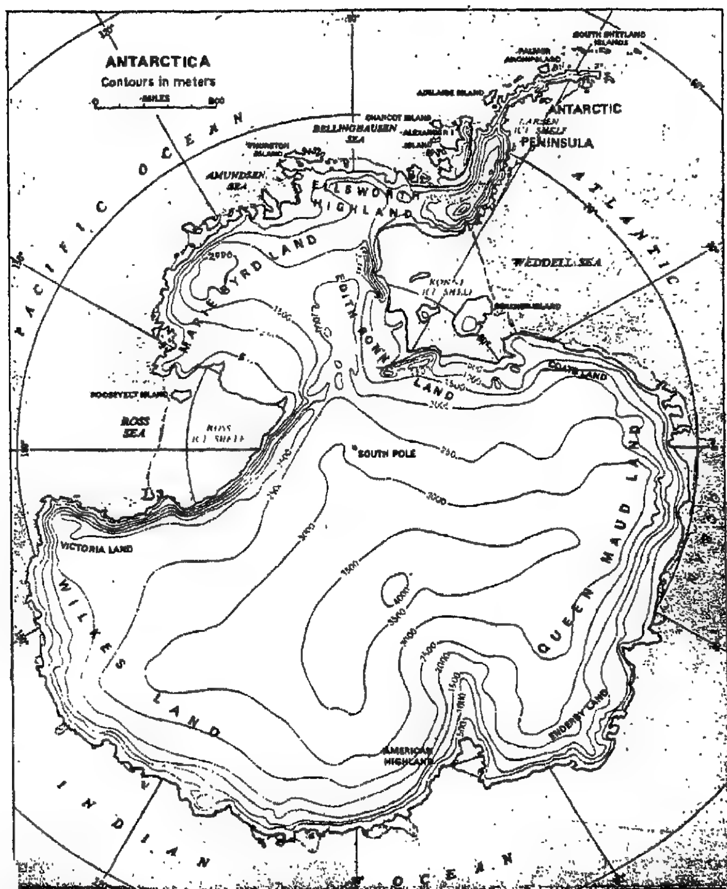
تعد الأنهار الجليدية Glaciers من العوامل المهمة فى تشكيل سطح الأرض. والجليد Ice عبارة عن كتلة من الثلج Snow منضغطة ومتجمدة يميل لونها إلى الأبيض المغبر أو الرمادى الفاتح وأحياناً المتوسط. ويسقط الثلج عند انخفاض درجة الحرارة إلى الصفر المئوى، وعندما تزيد كمية الثلج المتساقط فى فصل الشتاء عن كمية الثلج الذائب المنصهر والمتبخر فى فصل الصيف تضاف طبقة من الثلج على ما سبق تراكمه فى العام السابق. وعندما يتماسك الثلج عن طريق توالى ذوبان سطحه وإعادة تجمده يتحول إلى ثلج جليدى، ثم يزداد تراكماً وانضغاطاً وسمكاً حتى تصبح طبقاته السفلى لدنه فيبدأ فى الحركة متتبعاً انحدار سطح الأرض وتنشأ الثلاجة. وتتكون الثلاجات على المرتفعات الشاهقة سواء كانت فى العروض العليا أو الدنيا بسبب تزايد التساقط الثلجى نتيجة انخفاض درجة حرارة الجو. وتتميز الثلاجات التى تنشأ فوق الجبال بأنها تحتل الأودية النهرية السابقة، ومن ثم فإنها تنحدر إلى أسفل فى الوادى النهرى حتى تصل إلى خط الثلج الدائم فتختفى نتيجة الانصهار والتبخر. ويلعب خط الثلج الدائم بالنسبة للأنهار الجليدية نفس الدور الذى يلعبه مستوى القاعدة بالنسبة للمجارى النهرية. وينطبق خط الثلج الدائم على منسوب سطح البحر فى المناطق القطبية ثم يأخذ فى الارتفاع التدريجى عن سطح البحر بالتقدم نحو دائرة الاستواء. وهناك عوامل محلية تؤثر على منسوب خط الثلج الدائم مثل اتجاه الجبال بالنسبة لاتجاه الرياح ومصدر الرطوبة ومواجهة المنحدرات لأشعة الشمس.

أشكال تراكم الجليد على سطح الأرض:

يتخذ الجليد المتراكم مظهرين هما :

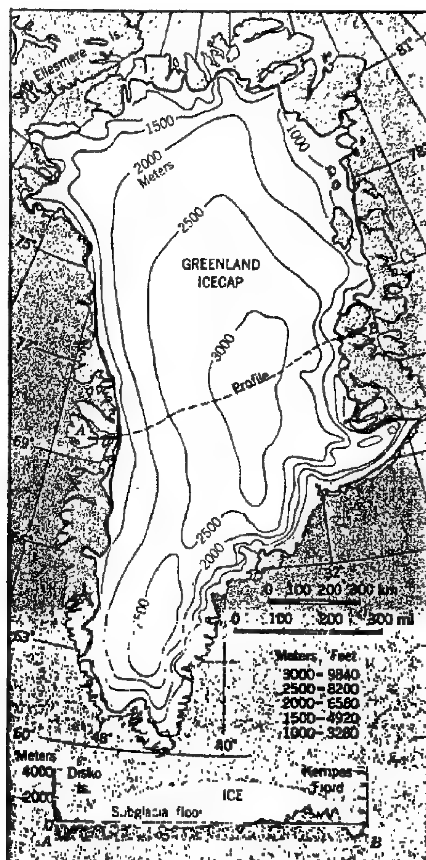
١- الغطاءات الجليدية Ice Sheets: وهى عبارة عن مناطق فسيحة تبلغ مساحتها آلاف الكيلومترات المربعة يغطيها الجليد على شكل طبقة سميكة قد تبلغ فى بعض الأحيان مئات الأمتار. وينزلق هذا الجليد وينتشر ببطء من الوسط نحو الأطراف تحت تأثير ضغط الجليد المتراكم وانحدار سطح الأرض

ليملأ السهول ويغطى الأراضى المجاورة. وينصهر الجليد عند الأطراف ويتحول إلى مياه جارية أو يتكسر إلى قطع جليدية كبيرة الحجم تطفو على سطح البحر وتسمى بالجبال الجليدية الطافية Ice Bergs والتى تعد خطراً على الملاحة البحرية فى تلك المناطق. ويقتصر وجود تلك الغطاءات فى الوقت الحاضر على الجهات القطبية مثل القارة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا) التى يغطيها غطاء جليدى تبلغ مساحته نحو ١٣ مليون كيلو متراً مربعاً، ويصل إلى البحر ويتكسر مكوناً كتلاً طافية من الجليد، وجزيرة جرينلند التى يغطيها غطاء جليدى تبلغ مساحته نحو ١,٧٤ مليون كيلو متراً مربعاً تمثل نحو ٨٨٪ من مساحة الجزيرة والنسبة الباقية عبارة عن شريط ساحلى ضيق (شكل ١٢٦). أما فى عصر البليستوسين فقد كانت الغطاءات الجليدية أوسع انتشاراً خاصة فى النصف الشمالى من الأرض فى شمال أوراسيا وأمريكا الشمالية حتى منطقة البحيرات العظمى.



شكل رقم (١٢٦)

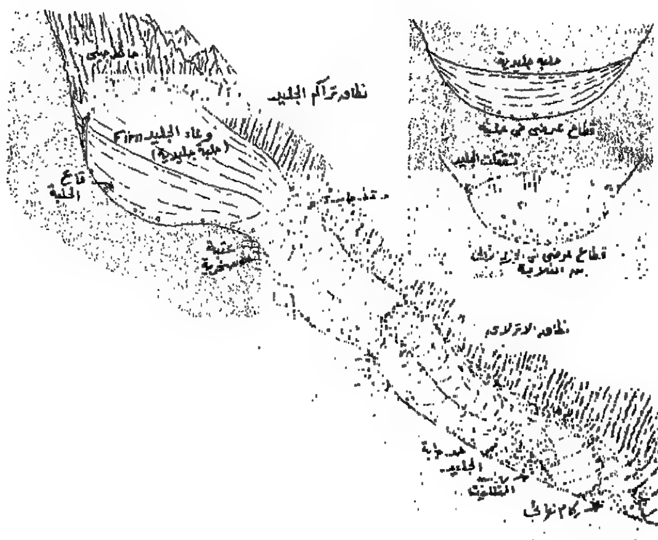
أ- الغطاء الجليدي بالقارة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا)



شكل رقم (١٢٦)

ب- الغطاء الجليدي بجزيرة جرينلند

٢-الأنهار الجليدية Glaciers، وتوجد في المناطق الجبلية، ويتجمع الثلج عادة في مساحة واسعة تعرف بحقل الثلج Snow Field، أو يتجمع في منطقة على شكل وعاء أو حلبة Girque أعلى الثلاجة ويسمى هذا الجزء العلوي بنطاق التراكم Zone of accumulation أو الوعاء Névé بالفرنسية أو Firn بالألمانية، وقاع هذا الوعاء مقعر تقعراً خفيفاً. وينساب ما يفيض عن سعة الوعاء من الثلج إلى الثلاجة أو النهر الجليدي. ويبلغ سمك الجليد في الجزء العلوي من الثلاجة نحو ٦٠ متراً أو أكثر ويتميز بهشاشته وتشققه بينما يتصلب الثلج بالتضاغط بالإتجاه نحو الأجزاء الوسطى والسفلى ويكتسب صفة اللدونة التي تساعد على الانسياب والحركة (شكل ١٢٧).



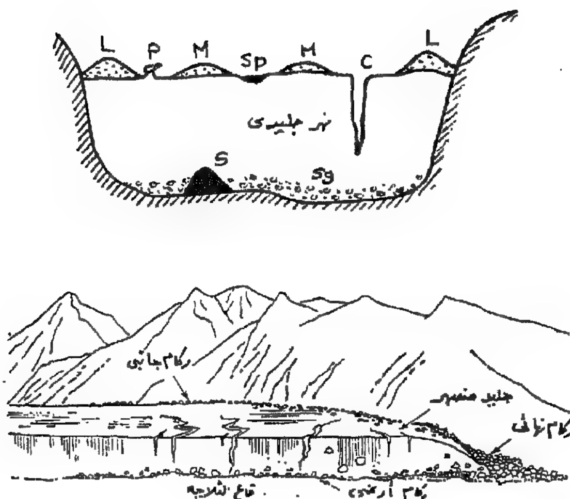
شكل رقم (١٢٧)
العناصر الجيومورفولوجية للنهر الجليدي

وتكوّن الثلاجة نظاماً خاصاً تتوازن فيه سرعة تراكم الثلج وانسيابه أى تغذية الثلاجة فى منابعها مع ما يتآكل وينصهر من الثلج عند أسافلها. ويتراوح معدل انسياب الجليد في الثلاجة بين عدة سنتيمترات في الثلاجة الصغيرة إلى عدة أمتار في الثلاجات الكبيرة وذلك فى اليوم الواحد. وسرعة انسياب الجليد فى وسط الثلاجة أكبر منها عند الجانبين وذلك لاحتكاكها بالجوانب الصخرية للثلاجة مما يؤدى إلى تمزق الجليد وظهور تشققات طولية فى اتجاه حركة الجليد، كما أن احتكاك الجليد بالقاع الصخرى للثلاجة يؤدى إلى تمزقه وظهور تشققات عرضية، ويبلغ عمق تلك التشققات عدة أمتار. ونتيجة لسرعة انسياب الجليد فى الوسط فإن مقدمة الثلاجة تبدو على شكل قوس محدب نحو الأمام. (شكل ١٢٨).



شكل رقم (١٢٨)
الشقوق في النهر الجليدي

ويحمل الثلج المنساب فى الثلاجة حمولة صخرية يتراوح حجم فتاتها بين الصغير الحجم والجلاميد الضخمة المقتطعة من المرتفعات أو المشتقة من القاع الصخرى أو من الصخور التى تشكل جوانب الثلاجة، وذلك بسبب قدرة الثلج على البرى abrasion بما يحمله من فتات صخرى. وتزداد قدرة الثلاجة على البرى والاقتلاع بالتقدم نحو أسافلها أى نحو خط الثلج الدائم. ويتراكم الفتات الصخرى من مختلف الأحجام على جوانب الثلاجة وعند نهايتها على شكل ركامات Moraines تعرف بالركام الجانبى Lateral Moraine والركام النهائى Terminal or End Moraine (شكل رقم ١٢٩).



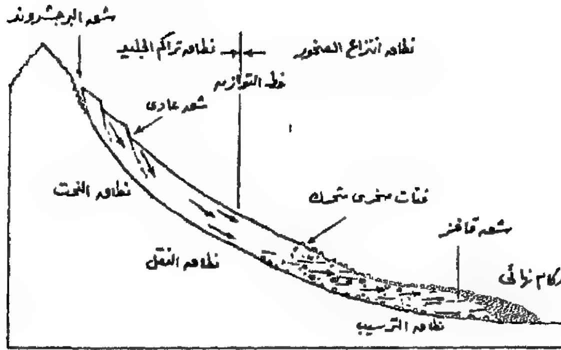
شكل رقم (١٢٩)

قطاع عرضي وقطاع طولي في نهر جليدي

L ركام جانبي　　M ركام أوسط　　Sg ركام أرضي

C شق جليدي　　Sp مجري (جدول) فوق سطح النهر الجليدي

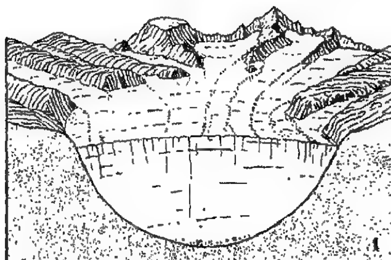
P منضدة جليدية　　S مجري نهري أسفل النهر الجليدي

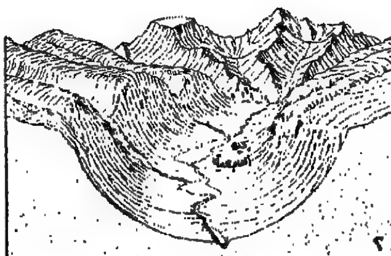


شكل رقم (١٢٩)
قطاع عرضي وقطاع طولي في نهر جليدي

وتعمل الثلاجة على تعميق مجراها وتوسيعه باستمرار. وعند ذوبان الجليد واختفاء الثلاجة فى النهاية نتيجة تغير الظروف المناخية يحل محلها وادى جليدى Glacial Trough يمتاز باستقامته النسبية وعمقه وقطاعه العرضى الذى يتخذ شكل حرف U . وتتخذ الروافد نفس الصفات الاستقامة وشكل حرف U ولكنها أصغر حجماً وقاعها على مستوى أعلى من قاع الوادى الجليدى الرئيسى، ومن ثم يطلق عليها اسم الأودية المعلقة Hanging Troughs ، وعندما تجرى فيها المياه فإنها تكوّن ظاهرة المساقط المائية water Falls أو الشلالات عند هبوطها للاتصال بالمجرى المائى الرئيسى الذى يجرى فى قاع الوادى الجليدى الرئيسى، ويمكن لتلك المياه أن تقطع فتحات لها عند سقوطها تشبه المزاريب Notch وعلى شكل حرف V. وقد لا يقوم الجليد الزاحف فى الثلاجة بتعميقها بالتساوى، لذا فإنها تحتوى على أحواض صخرية تفصلها عن بعضها عتبات صخرية Rock steps، وعند اختفاء الجليد بذوبانه تمتلئ تلك الأحواض بالمياه

وتظهر على شكل بحيرات Torus قد يكون لها شكل مستطيل تسمى بالبحيرات الاصبعية Finger Lakes (شكل ١٣٠).





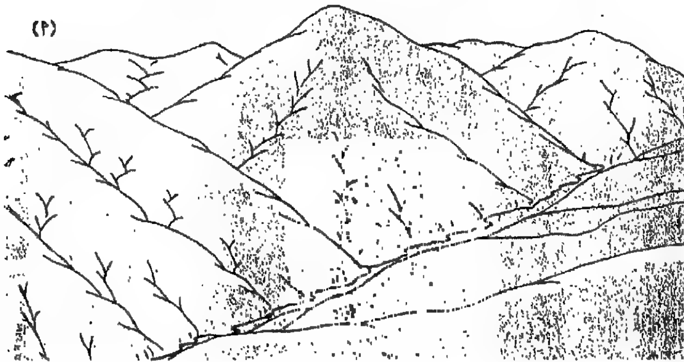
شكل رقم (١٣٠)

١ - خلال الدور الجليدي، يملأ الجليد الوادي حتى مستوى الروافد الصغيرة ويأخذ الوادي شكل حرف U.

٢ - بعد انحسار الجليد، يشق مجري نهري طريقة على قاع الوادي الجليدي وتوجد البحيرات الاصبعية وتصبح الروافد أودية معلقة، وتنحدر مجاريها إلى قاع الوادي الرئيسي على شكل مساقط مائية، وتظهر مقدمات أراضي ما بين الأودية مشطوفة أو مجدوعة.

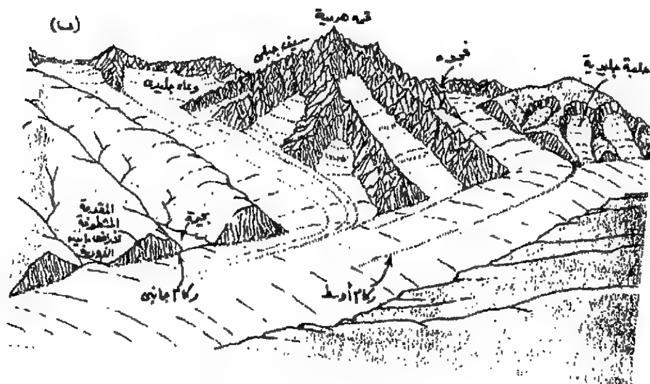
ظاهرات نحت الجليد :

١-الحلبات الجليدية Cirques والسيوف الجبلية والقمم الهرمية Materhorn والفجوات الجبلية Cols: تتحطم الصخور التى يزحف فوقها الجليد بسبب توالى عملية تجمد وذوبان الماء Freeze - thaw، كما تتكسر الصخور وتتهشم نتيجة تجمد الماء فى الشقوق مما يؤدى إلى حدوث انهيارات وبذلك تتكون أحواض شبه مستديرة على شكل وعاء يتجمع فيه الثلج ويزداد سمكاً باستمرار يعرف باسم الحلبة الجليدية. وتتأثر حوائط وجدران الحلبة بفعل الصقيع وتصاب بالانهيار والتحطم وبذلك تنمو الحلبة وتتسع وتحدها جوانب وعرة وعالية ذات انحدار شديد بدلاً من المنحدرات الخفيفة السابقة. وبتراجع جوانب الحلبة نتيجة لاتساعها ونموها تتقابل جوانب حلبتان متجاورتان ويتكون من التقائهما حافة صخرية حادة كالسكين تعرف بالسيف الجبلى. وعندما تنمو ثلاث حلبات متجاورة أو أكثر معاً يتكون شكلاً حاداً يعرف بالقرن Horn أو القمة الهرمية. وعندما تنهار أجزاء من جوانب الحلبة أى أجزاء من السيف الجبلى يتكون ممر أو فجوة تصل بين الحلبتين المتجاورتين تعرف بالفجوة الجبلية. وقد تمتلئ الحلبة الجليدية بعد ذوبان الجليد واختفائه بالمياه وتتكون بحيرة تأخذ شكل الحلبة وتعرف ببحيرة الحلبة الجليدية Cirque Lake (شكل ١٣١).



شكل رقم (١٣١)

أ - شكل سطح الأرض قبل زحف الجليد



شكل رقم (١٣١)

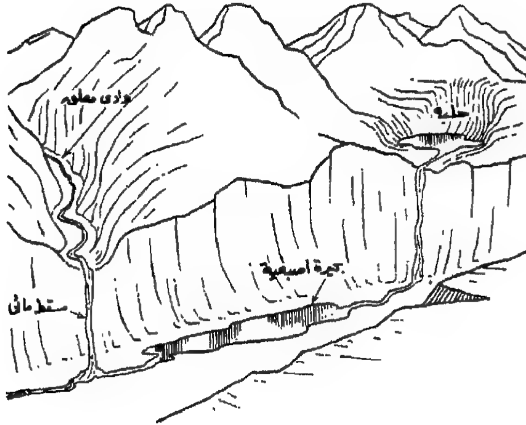
ب- أشكال سطح الأرض أثناء الجليد



شكل رقم (١٣١)

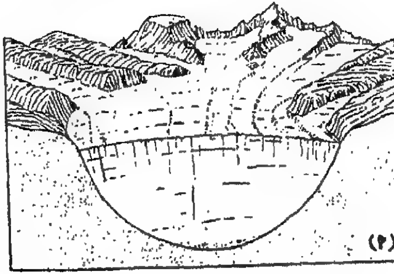
جـ- أشكال سطح الأرض بعد انسحاب الجليد

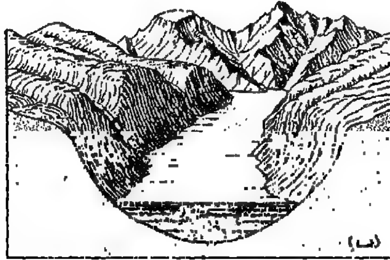
٢- الأودية المعلقة Hanging Valleys والمقدمات المشطوفة لأراضي ما بين الأودية Truncated Spurs، وهما ظاهرتان شائعتان فى أحواض الأودية النهرية المتأثرة بفعل الجليد. فعندما يتحرك الجليد يأخذ فى تعميق وتوسيع الأودية النهرية تبعاً لحجم الجليد الزاحف الذى يملأ الوادى، كما يعمل على أن يكون الوادى مستقيماً. وبذلك يقوم الجليد بنحت وقطع وشطف (أى جدع Truncate) مقدمات أراضى ما بين الأودية الرافدية Spurs التى تنتهى إلى الوادى الرئيسى والتى تظهر على شكل السنة صخرية مقوسة (محدبة إلى الخارج) فيتغير شكلها من الشكل المقوس إلى الشكل الخطى المستقيم تقريباً. كما أن توسيع وتعميق الوادى الجليدى يؤدى إلى بتر الأجزاء الدنيا من الأودية الرافدية على الرغم من أن تلك الروافد متأثرة أيضاً بفعل الجليد والتعرية الجليدية، ولكن معدل نشاط تلك التعرية أقل ولا تستطيع تعميقها بالقدر الذى يجعل قيعانها على منسوب يتفق مع منسوب قاع الوادى الرئيسى، ومن ثم تظهر قيعان الأودية الرافدية عالية (معلقة) فوق قاع الوادى الرئيسى (شكل ١٣٢).



شكل رقم (١٣٢) مجسم تخطيطي لظاهرة الأودية المعلقة وظاهرة المقدمات المشطوفة (المجدوعة) لأراضي ما بين الأودية

٣- الفيوردات Fjords، وهى ظاهرة تنفرد بها بعض السواحل الجبلية فى غرب القارات فى العروض العليا بين دائرتى عرض ٥٠°، ٧٠° مثل سواحل النرويج وسواحل ألاسكا وسواحل شيلى. وعندما ينتهى وادى جليدى فى البحر، فإن مياه البحر يطغى ويحل محل الجليد السابق مكوناً مصباً ضيقاً يعرف بالفيورد. وتتكون الفيوردات إما بهبوط مستوى اليابس فتطغى عليه مياه البحر المجاور أو بارتفاع مستوى سطح مياه البحر، ومعظم الفيوردات قد نشأت بسبب هبوط مستوى اليابس الذى كان ينوء تحت ثقل وضغط الجليد. ومن المعروف أن الأنهار لا تستطيع أن تنحت قاع البحر الذى تصب فيه إلا تحت ظروف خاصة ولعمق محدود ولمسافة محدودة، بينما يتمكن الجليد من النحت أسفل منسوب سطح البحر، حيث أن كثافة الجليد أقل من كثافة الماء ومن ثم فإنه يطفو فوق سطح الماء ولكن تظل نسبة من سمكه تتراوح بين ٧٥٪ و ٩٠٪ منه تحت سطح الماء ولا يبرز فوقه إلا النسبة الباقية. ولذلك إذا كان سمك الجليد فى الثلاجة حوالى ١٠٠٠ متراً وكان عمق البحر الذى ينتهى إليه أقل من ٧٥٠ – ٩٠٠م فإن هذا الجليد يستطيع أن يحفر لنفسه مجرى عميقاً على قاع البحر ويواصل زحفه حتى ولو تم إغراقه لعمق ٩٠٠ متراً. ولذلك فإن عمق الفيوردات يبلغ أعماقاً عظيمة، ففيورد سوجنى Sogne الذى تقع قرب مدخله من المحيط مدنية بيرجن النرويجية يبلغ من العمق نحو ١٣٥٠ متراً، كما يصل عمق فيورد لين Lynn فى غرب الاسكا نحو ٩٥٠ متراً. ويرجع جزء من عمق المياه فى الفيوردات إلى ارتفاع منسوب سطح البحر بعد تراجع جليد دورفورم وهو آخر دورجليدى فى عصر البليستوسين، ولكن هذا الجزء لا يتعدى ١٠٠ متراً (شكل ١٣٣).



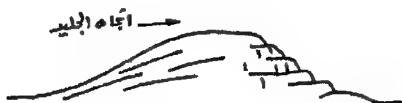


شكل رقم (١٣٣)
ظاهرة الفيوردات

٤- آثار نحت الغطاءات الجليدية: تعد الغطاءات الجليدية عاملاً من عوامل النحت مثل الثلاجات والأنهار الجليدية وليست غطاء يحمي ويقي قشرة الأرض من غوائل النحت. فالحركة البطيئة للثلج تحدث حزوزاً في الصخر وتطحن الصخور ويترك الثلج وراءه كتلاً مستديرة من الصخر تحمل آثار بري الجليد. كما تدل الحزوز على اتجاه سير الجليد، وقد يؤدي تغير اتجاه حركة الجليد إلى وجود حزوزاً متقاطعة. وهناك جلاميد ضخمة من الصخر تحمل علامات بري الجليد، وتمتاز بأن أحد جوانبها هين الانحدار ناعم مستدير به حزوز وهو الجانب الذي يرد منه الجليد، أما الجانب الآخر الذي يصدر إليه الجليد فهو خشن. وتسمى تلك الكتل الجلمودية بظاهرة الصخور الغنمية Roches Moutonnees (شكل ١٣٤).

وقد يحفر الغطاء الجليدي عند تحركه حفراً طولية صغيرة متوازية تشبه الأودية، وعند ذوبان الجليد تمتلأ تلك الحفر بالمياه على شكل بحيرات إصبعية الشكل.





مخطط صخرة غنمية

شكل رقم (١٣٤)
ظاهرة الصخور الغنمية

ظاهرات الارساب الجليدي :

تطلق على الرواسب الجليدية اسم المجروفات الجليدية Glacial Drift وهى كل المفتتات التى لها علاقة بالجليد. وتنقسم تلك المجروفات إلى نوعين رئيسيين :

١- المجروفات الطباقية Stratified Drift، وهى الحطام الذى حملته مجارى المياه الناتجة عن ذوبان الجليد ثم أرسبته بعد ذلك. إذ تحمل مجارى المياه الذائبة التى تجرى منبثقة من قاعدة الجليد كميات ضخمة من المفتتات والحطام الصخرى إلى النطاق الواقع أمام الجليد Pro-glacial Zone. ويلاحظ أن هذه الرواسب الجليدو نهرية Fluvio - Glacial جيدة الفرز والتصنيف كما تتصف بالطباقية فتترسب المواد الخشنة من فئة الحصى أولاً ثم الأقل خشونة (الحصباء) ثم الأقل (الرمال والطفل) فالأقل (الطين والصلصال). ولكن قد

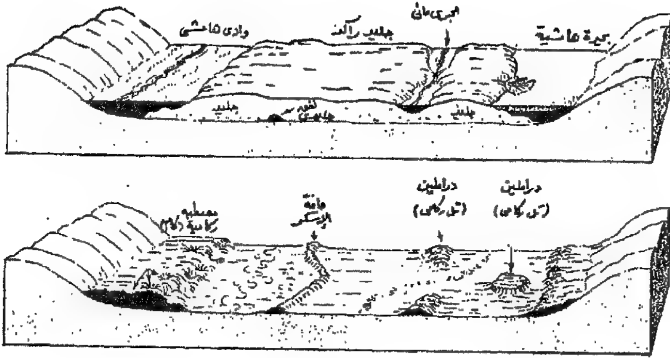
يضطرب هذا الوضع الطبقى ويتغير شكله حينما يتعرض إلى غزو الجليد واجتياحه مرة أخرى، أو يصيبه فعل الصقيع حينما تسود الظروف المناخية شبه الجليدية أى ظروف مناخ هوامش الجليد Periglacial Condition.

٢- **الركامات الجليدية Moraines**، وهى خليط ردئ التصنيف والفرز من المفتتات يتراوح حجمها بين حبيبات الطين والصلصال وكتل الجلاميد. وتلك الرواسب أرسبها الجليد مباشرة وليس عن طريق المياه الذائبة عنه. ويمكن تقسيم الرواسب الركامية إلى :

(أ) **الركام الأرضي Ground Moraine**، يزدحم القسم السفلى من الجليد بكميات ضخمة من فتات ا لصخور التى استطاع أن يكتسحها فى طريق سيره والتى يقتلعها من الأرض التى يزحف فوقها ومن الصخور التى تسقط فوق سطح الجليد ثم تنزلق خلال الشقوق الطولية والعرضية العميقة التى تصل إلى قاع الثلاجة. وعند حدوث الانصهار البطئ فى قاع الثلاجة بسبب وزن وضغط الجليد، فإن هذا الحطام الصخرى يتحرر من الجليد ويلتصق بالقاع وينغرز فيه. وبهذا يتكون ركام سميك من الرواسب غير المتجانسة فى حجمها يعرف بالركام الأرضى. ويتميز هذا الركام بثلاث صفات :

* أنه غير طباقى وغير مفروز أى ردئ التصنيف.
* أن له بناء خاص يتميز بأن جلاميده الضخمة تتراص فى اتجاه يتفق مع اتجاه حركة الجليد.
* تبز فوق سطحه تلال مستديرة أو بيضاوية الشكل تعرف باسم دراملين Drumlins وهى تظهر عادة فى مجموعات تتراص فى محاور تشير إلى اتجاه حركة الجليد.

والركامات الأرضية الناجمة عن الغطاءات الجليدية تطمس معالم السطح السهلى الذى كان موجوداً قبل أن يزحف عليه الجليد، ولكن فى الأراضى المضرسة تظل التلال والمرتفعات بارزة فوق السهل الركامى Till Plain. وعندما تتغير الظروف المناخية ويتقهقر الجليد فإنه لا يتراجع مرة واحدة ولكنه يتوقف عدة وقفات وفى كل وقفة يترك خطاً من الركام قليل السمك (رقيق) يبرز فوق الركام الأرضى ويعرف بالركام المنسحب Recessional Moraine شكل (١٣٥)



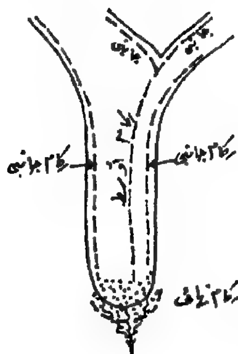
شكل رقم (١٢٥)
ظاهرات الارساب الجليدي (الركام الأراضي)

(ب) **الركام النهائي Terminal or End Moraine**: يجرف النهر الجليدى كل شىء أمامه ويراكمه بعضه فوق بعض ويجمعه عند نهايته أى عند حد الذوبان حيث ينصهر الجليد ويتحول إلى مياه لا تقدر على حمل ونقل كل تلك المواد المجروفة فتترسب فى هيئة تلال هلالية الشكل تقريباً هى الركامات النهائية. ويعتمد تكوين الركام النهائى على توازن دقيق بين معدل ذوبان الجليد ومعدل تراكم الجليد، فأى زيادة فى تراكم الثلج يدفع الثلاجة إلى الأمام أى إلى مسافة أبعد لتغطى مساحات جديدة من الأرض، وأى زيادة فى معدل الذوبان يؤدى إلى تراجع الجليد. وبمعنى آخر أن الركام النهائى لا يتكون إلا عند توقف واستقرار جبهة الجليد عند حد معين. وإذا لم تتوافر تلك الشروط فإن الارساب الجليدى ينتشر فوق مساحة كبيرة ولا تتكون بالتالى حافة إرسابية. أما إذا بقيت

هوامش الجليد ثابتة مستقرة فى موضعها لفترة طويلة فإن الركام النهائى ينمو ويعظم حجمه ويرتفع إلى منسوب يتراوح بين ٢٠٠ ، ٣٠٠ متراً فوق الأرض السهلية المجاورة .

(جـ) الركام الجانبي Lateral Moraine والركام الأوسط Median Moraine: الركام الجانبى هو حطام ومفتتات الصخور التى تتراكم على جانبى النهرالجليدى نتيجة احتكاك الجليد بالجوانب الصخرية فتتحطم تلك الجوانب وتنهار كما يتساقط من الجوانب نواتج فعل الصقيع . ويتراكم هذا الحطام ويبدو على شكل حائطين يحفان بالثلاجة من الجانبين ويحددان مجراها.

أما الركام الأوسط فيتكون من التحام ركامين جانبيين لنهرين جليديين التقيا فى مجرى واحد. وقد تلتقى عدة أنهار جليدية وتنحدر معاً فى مجرى متسع فيتكون من ذلك عدة خطوط من الركامات الوسطى تتوازى مع بعضها البعض (شكل ١٣٦) .



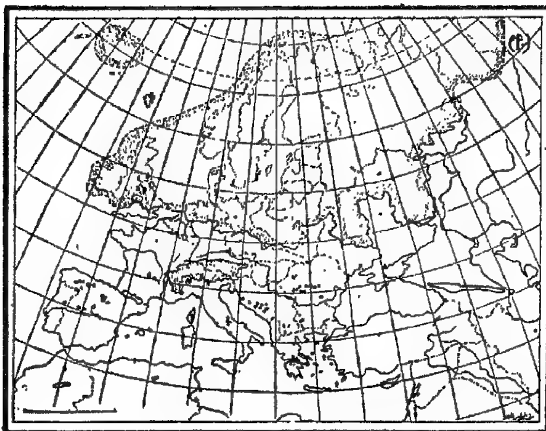
شكل رقم (١٣٦)
أنواع الركامات في الوادي الجليدي

غطاءات الجليد في عصر البليستوسين :

غطت أغطية الجليد مساحات واسعة من شمال آسيا وأوربا وأمريكا الشمالية والقارة القطبية الجنوبية وأيضاً قمم الجبال العالية فى جنوب أوربا ووسط آسيا. ففى أوربا كان الجليد يتمركز فى منطقة البحر البلطي وامتد ليغطى شبه جزيرة اسكنديناوه، كما يمتد حتى وسط ألمانيا. كما كان الجليد يغطى معظم الجزر البريطانية وامتد والتحم بجليد اسكنديناوه. أما جبال الألب فقد كانت مستقلة بالثلاجات التى تجمعت حتى أصبحت كتلة جليدية واحدة. أما فى أمريكا الشمالية فقد كانت الأراضى التى تقع شمال نهر الميسورى ونهر أوهايو كانت مغطاة بالجليد، كما كان يغطى شمال بنسلفانيا وولايتى نيوانجلند ونيويورك. وفى آسيا غطى الجليد شمالها وامتد جنوباً حتى حاجز جبال النظام الألبى (نظام الهيمالايا)، بل التحم هذا الجليد بجليد الثلاجات المنحدرة على السفوح الجبلية المواجهة للقطب. وقد امتدت وانتشرت تلك الغطاءات الجليدية خلال فترات من عصر البليستوسين الذى انتهى منذ ١٠,٠٠٠ إلى ١٥,٠٠٠ سنة، ولم يبق من هذا الجليد إلا الثلاجات المتناثرة فوق القمم الجبلية (شكل ١٣٧).

وقد استطاع العلماء التعرف على أربعة أدوار جليدية يفصل بين أحدها والأخرى فترة غير جليدية وذلك خلال المليون سنة الأخيرة. ولا تزال رواسب آخر دور جليدى على حالتها حتى الوقت الحاضر. ويبين الجدول التالى الأدوار الجليدية والفترات غير الجليدية فى كل من قارة أوربا (شمال أوربا، منطقة جبال الألب) وقارة أمريكا الشمالية.

جليد شمال أوربا	جليد جبال الألب	جليد أمريكا الشمالية
دور فيستولا الجليدى.	دور فورم الجليدى.	دور ويسكونسين الجليدى.
فترة سالى/ فيستولا غير الجليدية.	فترة رس/ فورم غير الجليدية.	فترة سانجامون غير الجليدية.
دور سالى الجليدى.	دور رس الجليدى.	دور إلينوى الجليدى.
فترة إليستر / سالى غير الجليدية.	فترة مندل / رس غير الجليدية.	فترة يارموث غير الجليدية.
دور أليستر الجليدى.	دور مندل الجليدى.	دور كانسان الجليدى.
فترة إلب/ أليستر غير الجليدية.	فترة جونز / مندل غير الجليدية.	فترة أفتونيان غير الجليدية.
دور إلب الجليدى.	دور جونز الجليدى.	دور نبراسكا الجليدى.





شكل رقم (١٣٧)

أ- الغطاء الجليدي البليستوسيني في قارة أوربا

ب- الغطاء الجليدي البليستوسيني في قارة امريكا الشمالية.

خامساً: التعرية في المناطق الجافة والظاهرات المرتبطة بها

المناطق الجافة هى المناطق الصحراوية حيث يعد الجفاف السمة الرئيسية المشتركة للصحارى. ويعنى الجفاف انخفاض كمية الأمطار السنوية إلى حد يصل إلى الندرة، وارتفاع معدلات التبخر من الأسطح الصخرية المكشوفة لأشعة الشمس الساخنة والرياح العاتية، ومن ثم فإن الغطاء النباتى الطبيعى فقير ويكاد يكون معدوماً.

وقد لا يكون هناك مكان على سطح الأرض ينعدم عليه سقوط الأمطار، ولكن هناك بعض المناطق شحيحة المطر، وقد تتعاقب السنين عديمة المطر. ففى صحراء أتكاما فى شمال شيلى كان متوسط كمية الأمطار التى سقطت خلال الربع قرن الماضى هو ١,٢٥ ملليمتر، وانقطع سقوط الأمطار مدة ١٣ عاماً متواصلة. وفى أسوان يبلغ المتوسط السنوى لكمية الأمطار نحو سنتيمتراً واحداً. والأمطار الصحراوية ذات صفة انهمارية وذات كثافة عالية تؤدى إلى حدوث سيول عارمة. ويساعد فى حدوث السيول ندرة الغطاء النباتى.

أما من حيث درجة الحرارة فمرتفعة وتصل إلى متوسط قدرة ٣٨°م فى فترة ما بعد الظهر بل قد تصل أحياناً إلى ٤٥°م ولكنها سرعان ما تهبط أثناء الليل بسبب شدة الاشعاع الأرضى الذى لا يعوقه شىء بسبب انعدام الغيوم. لذا فإن صفة المدى الحرارى اليومى الكبير من أهم خصائص المناطق الجافة. وكذلك مدى الحرارة السنوى كبير أيضاً. ويؤدى الارتفاع فى درجة الحرارة إلى الانخفاض فى الرطوبة النسبية إلى درجة تجعل الأسطح الصخرية فى حالة جفاف دائم. كما يؤدى الانخفاض فى الرطوبة النسبية إلى ازدياد فى معدل البخر، وعليه فإن المناطق الجافة تقاسى من جفاف شديد تجعل عمليات التجوية الميكانيكية لها السيادة.

أثر عمليات التجوية الميكانيكية في المناطق الجافة:

تسود عمليتا التفتت الصخرى والتقشر الصخرى فى المناطق الجافة. ويرجع الفضل فى ذلك إلى عامل التفاوت الحرارى، ويساعد فى ذلك ندرة النباتات

وانكشاف أسطح الصخور للتسخين الشديد أثناء النهار بسبب قلة السحب وصفاء السماء وكل ذلك يؤدى إلى ارتفاع المدى الحرارى اليومى. فإذا أُضيف إلى ذلك نشاط عوامل النقل فى إزالة المواد الصخرية المفككة فإن الأسطح الصخرية المستهدفة لفعل التفكك تتجدد باستمرار. وعلى الرغم من تعاون تلك الظروف الطبيعية فى تهيئة الوسط الملائم لعمليتى التفكك والتفتت إلا أن ميدانهما محدود لا يعدو قشرة رقيقة من غلاف الصخر لا يزيد سمكه عن بضعة ملليمترات بسبب رداءة توصيل الصخر للحرارة. كما يؤدى توالى تمدد وانكماش هذه القشرة الرقيقة إلى حالة عدم توائم بينها وبين كتلة الصخر فتنفصل فى موازاة سطح الصخر على شكل رقائق أو قشور ذات أطراف منحنية. ومن بين عمليات التجوية الميكانيكية عملية تحطيم الصخور التى تتميز بكثرة الفواصل وتحولها إلى قطع صخرية كبيرة أو إلى جلاميد فيما يعرف بالتفكك الكتلى. وفى الواقع فإن هذه العمليات مجتمعة تؤدى إلى وجود مواد خشنة رديئة التصنيف أو الفرز أى خليط من مفتتات حبيبية ناعمة وكتل صخرية مختلفة الأحجام.

أثر عمليات التجوية الكيميائية في المناطق الجافة:

لا تنعدم المياه أو الرطوبة تماماً فى المناطق الجافة، حيث يلاحظ حدوث تحلل كيميائى لبعض المكونات المعدنية للصخور، ومثل هذا التحلل لابد وأن يتم فى وسط رطب. ومصدر الرطوبة بطبيعة الحال الأمطار القليلة العارضة أو بخار الماء الصادر عن مكشف صخرى رطب بسبب صعود المياه الباطنية نحو السطح بواسطة الخاصية الشعرية. ويحتوى الماء الصاعد على أملاح ذائبة قد تكون أكاسيد حديد أو منجنيز أو الومنيوم وتتبخر المياه القليلة وتترسب الأملاح على السطح مكونة قشرة صلبة رقيقة تعرف بالورنيش الصحراوى. وقد تترسب جزيئات تلك الأكاسيد فى المسام الدقيقة للجزء العلوى من الصخر أو تتحد كيميائياً مع العناصر المعدنية فتتكون قشرة شديدة الصلابة يصل سمكها إلى بضعة سنتيمترات تعرف بالقشرة المتصلبة Duricrust or Hard Pan. وتمنع تلك القشرة صعود الرطوبة أو المياه القليلة الناشعة إلى أعلى كى تتبخر، وتظل متحبسة داخل الصخر وتؤثر فيه كيميائياً. وحينما تتكسر تلك القشرة المتصلبة الخارجية يتعرض القلب المتآكل والمتحلل والمتفسخ للإزالة فتتشكل بذلك كتل

صخرية مجوفة أو بها تجاويف مستديرة وتعرف بالتافونى Tafoni . وتنتشر تلك الظاهرة في معظم الصخور بغض النظر عن نوعها فهى توجد فى صخور الجرانيت وفى الحجر الجيرى الكتلى.

تعرية المياه الجارية في المناطق الجافة :

نتيجة الظروف المناخية السابق ذكرها فلا توجد مجارى نهرية بالمعنى الاصطلاحى للمجرى النهرى، إذ تتكون مجارى نهرية مؤقتة عقب أية عاصفة مطرية شديدة ينتج عنها جريان سيلى، ولا تصل مياه تلك المجارى إلى البحار الخارجية أو حتى إلى مجارى نهرية دائمة إلا فى حالات نادرة. فعلى سبيل المثال حدثت عاصفة رعدية شديدة على الأحباس العليا لوادى العلاقى رافد نهر النيل إلى الجنوب من أسوان بنحو ٨٠ كيلو متراً، وتكوّن سيل جارف على شكل مجرى مائى قوى بلغ عرضه نحو ٣٠٠ متراً وتراوح عمقه بين ١ ، ٣ متراً واستمرت المياه تجرى فى الوادى نحو ثلاثة أيام لمسافة ٦٥ كيلو متراً. وعلى الرغم من عظم كمية المياه إلا أنها فشلت فى الوصول إلى نهر النيل، إذ تجمعت فى منخفض لم تستطع عبوره على شكل بحيرة سرعان ما جفت عن طريق البخر والتسرب.

وعلى الرغم من ذلك فإن أشكال سطح الأرض ا لتى ترجع إلى فعل المياه الجارية والتعرية النهرية مثل الأودية والمراوح الدلتاوية والرواسب التى تحمل دلائل واضحة على أن المياه هى عامل نقلها وارسابها منتشرة بكثرة فى المناطق الجافة بل أنها تشكل الملامح الرئيسية لها، ويرجع ذلك إلى فترات المطر الذى حدثت فى الزمن الرابع.

وهناك حالات استثنائية لأنهار تخترق المناطق الجافة وتصل إلى البحار المفتوحة مثل أنهار النيل والسند والكلورادو. وهذه الأنهار تستمد مياهها من مناطق مطيرة بعيدة عن المناطق الجافة وتساعدها وفرة كمية التصريف فى عبور واختراق تلك المناطق على الرغم مما تتعرض له من ضياع عن طريق البخر والتسرب. وتعرف تلك الأنهار بالمجارى العابرة Exotic Streams .

وحيث يكون ا لتصريف النهرى داخلياً فإن مستويات القاعدة التى تؤثر فيه لا علاقة لها بمستوى القاعدة العام (مستوى سطح البحر) إذ قد تكون أعلى منه أو أقل منسوباً عنه. ويرتفع مستوى القاعدة المحلى نتيجة لعملية الارساب المتواصل فى الأحواض الداخلية.

الجريان المائي السطحي بالمناطق الجافة:

يتخذ الجريان المائى السطحى فى المناطق الجافة نمطين رئيسيين هما :

١- **السيول**، أو الجريان السيلى ويطلق عليه مصطلح Stream Floods وترجمه البعض بفيضان الوادى، باعتبار أن الأودية الصحراوية تتميز بالفيضانات. ولكن جريان المياه فى أودية المناطق الجافة يكون عقب عاصفة رعدية غزيرة المطر ينتج عنها جريان سطحى لا يتقيد بمجرى نهرى محفور، كما أن الفيضان يكون فجائياً وينحسر بسرعة، وجريان له تلك الخصائص يعد جرياناً سيلياً. وتتحول الأودية فى المناطق الجافة أثناء السيل إلى أنهار ذات تيار جارف مدمر، ويصعب عادة المحافظة على نفس اتجاه الجريان خلال كل فترة سيل.

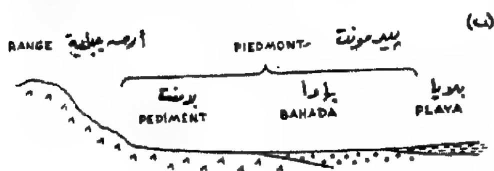
٢ -**الفيضان الغطائي Sheet Floods**، وهو عبارة عن تدفقات مائية عريضة لا تسير فى خطوط نهرية محددة وإنما تنتشر فوق مساحة واسعة من سطح الأرض المنبسطة المستوية. فعندما تحدث عاصفة رعدية مطيرة وبعد أن تتشبع التربة بالمياه تتكون أشكال مختلفة من الأغشية المائية تنتشر بسرعة على شكل قنوات رفيعة متعرجة تشبه الخيوط التى تتشعب وتتلاقى ثم تتشعب مرة أخرى وتدور حول سيقان بعض الحشائش النامية وحول القطع الصخرية المتناثرة ثم تنتشر المياه على شكل غطاء مائى ينحدر ببطء تجاه أى منطقة ذات منسوب أقل وتتجمع فيها حتى تملؤها ثم تتخطاها وتنتشر تجاه منطقة أخرى وهكذا حتى تصبح الأرض كلها مغطاة ببساط مائى لامع يعكس ضوء البرق المصاحب للعاصفة الرعدية. وتستطيع تلك المياه نقل المواد المفتتة دقيقة الحبيبات وتنشرها من أماكن تواجدها على سطح الأرض المستوية.

أشكال سطح الأرض الرئيسية في المناطق الجافة :

يمكن التعرف على الأشكال الأرضية الرئيسية التالية :

١- **أحواض البولسون Bolson**: وهي أحواض محاطة بسياج جبلي أو هضبي وتتميز بنظام تصريف نهري مركزي Contripetal، وفي وسطها منطقة منخفضة سهلية تعرف باسم البلايا Playa تدل على مكان بحيرة حالية أو سابقة، أو منطقة سبخية تنتهي إليها المياه المنصرفة عقب العاصفة الرعدية المطيرة، وعندما تجف المياه تترك راقة رقيقة من الأملاح. وتحاط منحدرات الجبال أو الهضاب بمنحدرات خفيفة تعرف باسم البيدمونت Piedmont. وهي تتكون من قسمين: علوى تكون بفعل النحت ذى قاعدة صخرية يغطيها طبقة من الارسابات الخشنة وتعرف باسم البيدمنت Pediment، وسفلي ويسمى بالبجادا Pajada وهو إرسابي الأصل. ويتراوح انحدار البيدمونت بين ٧°في قسمها العلوى ونصف درجة في قسمها السفلي. بينما يتراوح انحدار الواجهة الجبلية بين ١٥، ٩٠ درجة. ونتيجة لهذا الاختلاف الواضح في الانحدار يلاحظ وجود زاوية أو كوع واضح بين البيدمونت والواجهة الجبلية. وتتكون البجادا من مجموعة ملتحمة من الارسابات النهرية بنتها المجارى السيلية المنحدرة على الواجهة الجبلية. فعند ارتطام مياه السيول العنيفة والتي تحمل كمية ضخمة من الرواسب بالأرض المنبسطة عند أقدام الجبال تقل سرعة اندفاعها وجريانها فتنفرش حمولتها على شكل مروحة تحتوى قمتها على رواسب خشنة جلاميدية وحصوية ورملية وعلى رواسب ناعمة طينية عند مقدمتها. ويلاحظ وجود قنوات نهرية تخترق سطح المروحة يصيبها التغير من فترة لأخرى (شكل ١٣٨).





شكل رقم (١٢٨)

العناصر الجيومورفولوجية للمنخفض الصحراوي

أ- شكل تخطيطي للمنخفض.

ب- قطاع تخطيطي لجانب من المنخفض.

٢- **السهول الصخرية**، وتعرف باسم سهول الرق Reg أو سهول الحمادا Hammada وهي مناطق سهلية مكشوفة الصخر وعارية من أي غطاء ارسابي. فقد اكتسحت المياه الجارية والرياح المواد الناعمة والدقيقة وألقت بها في المنخفضات المتاخمة لها.

٣- **السهول البنائية أو التركيبية Structural Plains**، وهي مناطق منبسطة مسطحة تعكس التركيب الأفقي للطبقات الصخرية التي تتكون منها، أو قد تكون الطبقات مائلة ميلاً خفيفاً ولم تتأثر بأي تراكيب التوائية أو انكسارية، وهي تعرف أحياناً باسم السهول الميلية Dip-slope Plains. وتشق هذه السهول نظم من الأودية تتسم بطولها وتشعبها، وتتصف سفوح جوانب تلك الأودية بشدة انحدارها حتى لتقترب من الوضع القائم بينما تبدو قيعانها مسطحة منبسطة وتفترشها إرسابات مائية.

٤- **السهول التحاتية Pediplains**، وهي سهول واسعة مترامية الأطراف عملت عوامل التعرية على تسويتها ويتناثر فوقها تلال منفردة منعزلة شديدة انحدار الجوانب. وربما نشأت تلك السهول من التحام عدد ضخم من البيديمنتات.

٥- **التراكمات الرملية**، وهي مناطق رملية واسعة تصل مساحتها إلى آلاف الكيلو مترات المربعة وتتصف بالتموج في السطح نتيجة وجود كثبان رملية وأشكال مختلفة من التجمعات الرملية، وتعرف ببحار الرامال مثل بحر الرمال العظيم في الصحراء الغربية ورمال الربع الخالي ورمال النفود في شبه الجزيرة العربية. ومن أشكال التراكمات الرملية أيضاً العروق الرملية التي تمتد لمسافات بعيدة تصل إلى حوالى ٣٠٠ كيلو متراً وتعرف محلياً باسم الغرود مثل غرد أبو محرق في الصحراء الغربية. وقد تمتد العروق لمسافات أبعد من ذلك على شكل سلاسل رملية تمتد موازية لبعضها البعض وقد تظهر الأرض الأصلية التي تراكمت فوقها العروق بين السلاسل، وأفضل مثال لتلك الظاهرة نفود الدهناء بشبه الجزيرة العربية التي تمتد لمسافة نحو ١٢٠٠ كيلو متراً وتصل بين النفود الكبير شمالاً والربع الخالي جنوباً. وقد تسمى هذه الظاهرة بظهور الحيتان Whale Backs أو الجسور الرملية Sand Levees ولكن يميزها عن نوع الدهناء أنها ذات قمم مسطحة وتفتقد للجانب شديد الانحدار Slip-Face.

الظاهرات الناتجة عن التعرية الريحية في المناطق الجافة:

يتوقف فعل الرياح كعامل تعرية على سرعتها وقوتها من ناحية وعلى مقدار ما تحمله من مفتتات من ناحية أخرى. وعندما تصل سرعة الرياح إلى ٢٧ كم/ الساعة تستطيع تحريك المفتتات التى يبلغ حجمها ملليمتراً واحداً، وتحت ظروف خاصة تستطيع تحريك المفتتات الأخشن. ويعتمد هذا التحريك على عوامل إضافية أخرى غير سرعة الرياح مثل طبيعة تركيب التربة ومحتوى الرطوبة بها وتضاريس (خشونة) سطح الأرض والغطاء النباتى. وتسمى عملية تحريك المفتتات من مكان إلى آخر بواسطة الرياح بعملية التذرية أو سفى الرمال Deflation، وكلما قل حجم حبيبة الفتات كلما انخفضت سرعة الرياح اللازمة لتحريكها، بينما الحبيبات الخشنة تتطلب رياحاً قوية. فمفتتات فى حجم ٠,٠٠٣ ملليمتر تحتاج إلى رياح سرعتها ٧,٥٦كم/الساعة، وحبيبات حجمها ٠,٥ ملليمتر تحتاج إلى رياح سرعتها ١٨,٣كم/الساعة، وحبيبات فى حجم ١ ملليمتر يلزمها رياح سرعتها ٢٧كم/الساعة.. وهكذا. وتأخذ عملية النحت بواسطة الرياح صوراً مختلفة، فالنحت بواسطة ارتطام الرمال والمفتتات التى تحملها الرياح تسمى بعملية البرى Abrasion، واصطدم حمولة الرياح ببعضها ينتج عنها عملية التفتيت المتبادل Attrition، أما عملية التآكل Corrosion فتتم عن طريق اصطدام الرياح بحمولتها بالصخور فتؤدى إلى تفتتها وصقلها.

وتصدم الرياح التى تحمل الرمال الواجهات الصخرية التى تهب عليها إذا كانت فى وضع مائل أو عمودى على اتجاهها، أما إذا كانت فى وضع مواز لها فإنها تحتك بها ولا تصدمها. وفى الحالة الأولى تستغل الرياح التباينات الليثولوجية داخل الطبقة الصخرية فتنحت مناطق الضعف باستمرار ضربها بالرمال السافية فينتج تجاويف دائرية الشكل أو تجاويف تأخذ شكل منطقة الضعف داخل النسيج الصخرى. وتمتلئ تلك التجاويف بحبيبات الرمل، ولكن نتيجة لدورانها دوراناً سريعاً ومستمراً داخلها بفعل صفع وضغط الرياح تتصادم وتتحطم حروفها الزاويّة، ومن ثم تستقر رمال ناعمة فى النصف السفلى من التجويف بعد سكون الرياح. أما فى الحالة الثانية عندما تكون الواجهات الصخرية فى وضع يوازى اتجاه الرياح فإن الرياح تحتك بأسطح الانفصال بين الطبقات وتعمل على نحتها، وتنشأ عن هذه العملية تجاويف طولية الشكل تتفق بوجه عام مع مسار الرياح، وتكون تلك التجاويف أوسع وأعمق فى الصخر فى

الجهة التى تأتى منها الرياح وأضيق فى الجهة التى تذهب إليها. وبعد سكون الرياح فإن حبيبات الرمل تملأ تلك التجاويف الطويلة على شكل منشور نائم تشير رأسه إلى الجهة المدابره لاتجاه الرياح. وتحتفظ الحبيبات الرملية بزواياها الحادة غير المنتظمة.

وفى المناطق المنبسطة من المناطق الجافة الصحراوية والمغطاة بالحصى والقطع والكتل الصخرية فإن الرياح القوية تحمل بعيداً كل ما حول تلك القطع من حبيبات دقيقة وتتركها مستقرة فى حمى الطبقة الصخرية الواقعة أسفل منها والمشتقة منها. وتسير الرياح فى طريق متعرج ملتو بين تلك الحصوات والقطع والكتل الصخرية وتكشف أجزاء منها كانت مطمورة غير ظاهرة، ولكن حبات الرمل التى تحملها الرياح تتحرك إلى أعلى بحركة دوارة. وأحياناً يظهر على السطح العلوى للقطع الصخرية الكبيرة خطوطاً محفورة بعمق حوالى ٢ ملليمتر تشير إلى احتكاك الرمال التى تحملها الرياح بهذه الأسطح. وعندما تتماسك تلك الحصوات والقطع الصخرية بفعل كربونات الكالسيوم والجبس وغيرها من الأملاح الموجودة قرب السطح والتى ارتفعت بفعل الخاصة الشعرية تتكون ما يعرف باسم الرصيف الصحراوي Desert Pavement.

وتتنوع أشكال السطح الناتجة عن نحت الرياح، ويمكن أن نميز الأشكال التالية :

١- **الياردنج Yardangs**، وتعرف أيضاً بالدهاليز الصحراوية، وهى عبارة حفر طولية ذات اتجاه موازى لاتجاه الرياح السائدة ويفصلها عن بعضها ضلوع مرتفعة ذات جوانب شديدة الانحدار ويصل ارتفاعها إلى نحو ٧ – ١٠ أمتار ويتراوح عرضها بين ١٠ ، ٤٠ متراً. وترجع تلك الظاهرة إلى عملية البرى التى تقوم بها رياح قوية ذات حمولة رملية عالية تؤدى إلى عملية تشكيل Shaping وشطف Faceting، إذ تتميز جوانب الضلوع المرتفعة بتشكيلات مختلفة من الفجوات والبروزات والأعراف يتفق اتجاهها مع اتجاه الرياح (شكل ١٣٩).



شكل رقم (١٣٩)
ظاهرة الياردنج

٢-الأعمدة الصخراوية Rock Pillars، وتنشأ فى حالة وجود صخور متعاقبة متفاوتة فى مقاومتها لعمليات نحت الرمال المحمولة بالرياح، وتتآكل الطبقات الضعيفة السفلى وتستقر فوقها الطبقات القوية العليا غير متأثرة بالرياح، وعندما تنهار أجزاء الطبقات العليا البارزة للخارج بتأثير قوة الجاذبية يتكون العمود الصخرى.

٣-الموائد الصخراوية Pedestal Rocks، المائدة الصحراوية عبارة عن صخرة تشبه المائدة القائمة على عمود واحد، وتنشأ فى حالة وجود صخور ضعيفة فوقها صخور أكثر صلابة، وتتآكل الصخور الضعيفة السفلى بواسطة سفى الرمال بينما تظل العليا الصلبة معلقة فوقها. ويلاحظ أن التآكل فى الطبقة السفلى لا يكون بدرجة واحدة فهو ضعيف بالقرب من سطح الأرض نتيجة لضعف حركة الرياح لاحتكاكها بالأرض، لذا فإن قاعدة المائدة أكثر اتساعاً منها عند الجزء الملامس للطبقة الصلبة العليا. وقد تساعد عملية التحلل الكيميائى من أثر صعود المياه الباطنية إلى أعلى فى تآكل الطبقة السفلى الضعيفة (شكل ١٤٠).





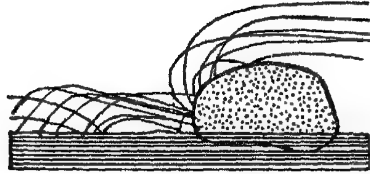
شكل رقم (١٤٠)
ظاهرة الموائد الصحراوية وظاهرة الأعمدة الصخرية

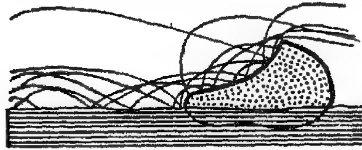
٤- الصخور المصقولة (الوجه ريحيات) Ventifacts: وتنتج عن برى الرياح لأحد جوانب القطع الصخرية وصقلها، وعندما يتغير اتجاه الرياح وتسود لفترة تنحت وتصقل جانب آخر من القطعة، وهكذا تظهر تلك القطع بأوجه متعددة يفصل كل وجه عن الآخر حرف حاد (شكل ١٤١).

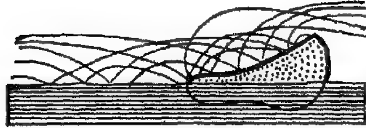
٥- المنخفضات الصحراوية وتسمى أحياناً بالأحواض الصحراوية Blowouts: المنخفض الصحراوى عبارة عن منخفض مغلق يتفاوت فى مساحته تفاوتاً كبيراً، فقد لا تتعدى مساحته بضعة أمتار مربعة فى بعض المناطق، بينما تصل مساحة البعض الآخر إلى عشرات أو مئات الكيلو مترات المربعة وأحياناً إلى آلاف الكيلو مترات المربعة مثل منخفض القطارة فى الصحراء الغربية (٥١٠٠٠كم٢). وتدين بعض المنخفضات فى نشأتها إلى العوامل التكوينية (المنخفضات التركيبية) مثل الثنيات الحوضية المقعرة أو الانكسارات الصندوقية. كما يمكن إرجاعها إلى عملية هبوط نتيجة التحلل الكيميائى الباطنى إذا كانت الصخور التحت سطحية من نوع الحجر الجيرى أو الدولوميت. أو نتيجة ارتفاع مستوى الماء الباطنى فى الفترات المطيرة مما يؤدى إلى تفت الصخور ثم انخفاضه في فترات الجفاف، وتقوم الرياح بعملية سفى وتذرية تلك المفتتات وحملها بعيداً فيتشكل المنخفض. ويبدو أن التجويف الذى نشأ يأخذ فى الاتساع والعمق مما يؤدى إلى زيادة الرطوبة نتيجة الاقتراب من مستوى الماء الباطنى ومن ثم تزداد عملية التحلل الكيميائى وتدأب عمليات التذرية والاكتساح فى تعميق وتوسيع المنخفض حتى يظهر وينكشف الماء الباطنى فتتشكل الواحات، وقد ينشأ عن التبخر تكوين قشرة ملحية عازلة تمنع من استمرار فعل الرياح (شكل ١٤٢).

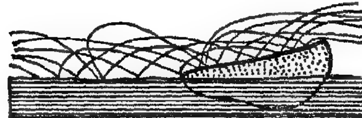
الظاهرات الناتجة عن الارسابات الريحية في المناطق الجافة:

يحدث الارساب الريحى فى أى مكان تضعف فيه قدرة الرياح على الحمل والنقل. وتستطيع الرياح العاتية أن تحمل الرمال والغبار وتتشكل العواصف الرملية والغبارية. وتتقدم العاصفة الغبارية على شكل سحابة داكنة تمتد ما بين سطح الأرض وإلى عدة مئات من الأمتار ارتفاعاً مثل عواصف الهبوب فى السودان والطوز فى الكويت. ويقل مدى الرؤية داخل السحابة إلى عدة أمتار داخل العاصفة. ويقدر أن العاصفة الغبارية تستطيع أن تحمل ٨٧٥ متراً مكعبا

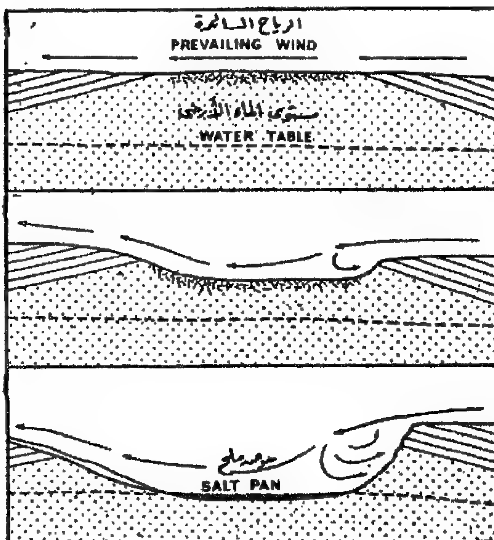








شكل رقم (١٤١)
مراحل تكون ظاهرة الوجه ريحيات

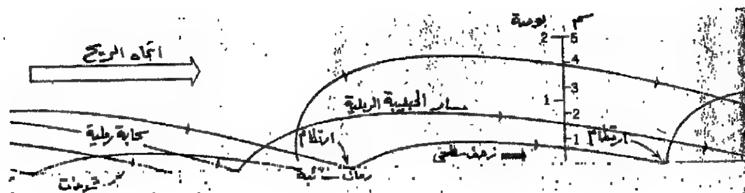


شكل رقم (١٤٢)
مراحل تكون المنخفضات (الأحواض) الصحراوية بعملية سفي الرمال

من الغبارّ فوق الكيلو متر المربع، وبهذا الشكل تستطيع عاصفة قطرها ٥٠٠ كم أن تحمل نحو ٩٠ مليون طن مترى تكفى لتكوين تل ارتفاعه نحو ٣٠م واتساعه عند القاعدة ٣ كم. أما العاصفة الرملية فهى عبارة عن سحابة من الرمل المتحرك ترتفع عادة إلى مترين فوق سطح الأرض، وهى تتكون من حبيبات رملية تدفعها ريح قوية، ولا تعلو حبيبات الرمال إلى ارتفاع أكبر من ذلك. وتأخذ حركة حبيبات الرمل شكلين: الأول حركة قفز Saltation، والثانية حركة زحف سطحى Surface Creep. وتنشأ حركة القفز نتيجة ضغط الرياح على حبيبات الرمل فتنزعها من سطح الأرض وتحركها زاحفة فى خطوط منتظمة. وقد تؤدى عملية الضغط الريحى إلى حركة قافزة لحبات الرمل فترتفع إلى أعلى قليلاً وتدفعها الرياح إلى الأمام فتصنع قوساً كبيراً ثم تسقط بقوة بزاوية

صغيرة ثم تعاود القفز مرة أخرى فى الهواء من شدة اصطدامها بالأرض، بل تستطيع قوة الارتطام بسطح الأرض أن تجبر حبيبة أخرى إلى الارتفاع إلى أعلى والاندفاع إلى الأمام فى حركة قفز وهكذا. وفى نفس الوقت تزحف حبات الرمل فكأن عملية القفز وعملية الزحف عمليتان متلازمتان (شكل ١٤٣). ولذلك فالأسطح التى تعلو عن الأرض بأقل من متر هى التى تتأثر بفعل الرمال التحاتى، لذا فإن أعمدة التليفون فى المناطق الجافة تتآكل بسرعة عند قواعدها ما لم تدعم بوضع كومة من الحجارة عند تلك القواعد.

وتترسب المواد الخشنة الرملية على شكل كثبان أو فرشات، أما المواد الغبارية الدقيقة فتحملها الرياح لمسافات بعيدة وترسب فى هيئة خاصة تعرف باللويس Loess.



شكل رقم (١٤٣)
تحرك وحركة حبيبات الرمال

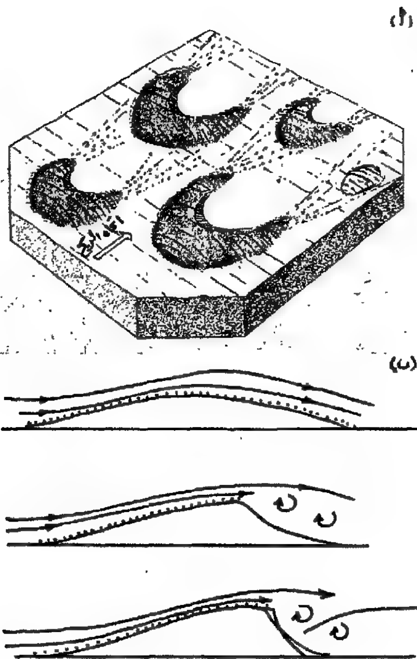
١- الكثبان الرملية Dunes: الكثيب هو أى تل أو كوم من الرمل شكلته الرياح. والكثبان إما نشطة متحركة أو ثابتة. وهى نشطة متحركة عندما تكون عارية من أى غطاء نباتى، ومن ثم فهى تغير شكلها ومكانها تحت تأثير التيارات الهوائية، أما الثابتة فهى تلك التى تغطيها النباتات وتضرب فيها بجذورها وتمنعها من الحركة. وتتنوع الكثبان تبعاً لـ : كمية المال المحمولة والمترسبة، وسرعة الرياح، وثبات اتجاه الريح. وقد تتجمع الكثبان على شكل مستعمرات كثيبية Dune Colonies أو على شكل سلاسل كثيبية Dune Chains أو على شكل خليط أو تجمع كثيبى Dune Conplexes. وتنقسم أيضاً

الكثبان الرملية إلى كثبان هلالية Barchans وكثبان طولية Longitudinal Dunes.

(أ) **الكثيب الهلالي:** وهو كثيب هلالي الشكل وله طرفان أو ذراعان أو قرنان يشيران إلى اتجاهه وإلى اتجاه الرياح السائدة. والكثيب خفيف الانحدار محدب قليلاً من الجانب الذى تهب منه الريح (ظهر الكثيب)، ولكنه شديد الانحدار من الجانب الذى تنصرف إليه الريح، وتصل درجة الانحدار إلى ٣٥° (واجهة الكثيب). وتدفع الرياح الهابة حبات الرمل على ظهر الكثيب وترتفع بها إلى قمته ثم تنزلق على الواجهة. وعندما تهب ريح قوية تصنع حبيبات الرمل سحابة رملية فوق قمة الكثيب. وتتكون الكثبان الهلالية فوق الأرض المنبسطة، وقد يتكون الكثيب من تراكم الرمال فوق صخرة ناتئة أو شجيرة صغيرة أو خصلة عشبية. وما أن تتجمع كمية كافية من الرمال حتى تبدأ فى الحركة متخذة شكل الهلال. وتصطف الكثبان فى صفوف يتفق اتجاهها مع اتجاه الرياح السائدة، وقد يؤدى التغير فى اتجاه الريح إلى تعديل شكل الكثيب فيستطيل أحد ذراعيه بينما يقصر الذراع الآخر، وقد يتحطم شكل الكثيب ويحل محله كومة من الرمال ذات شكل مخروطى إلى أن تتخذ الرياح اتجاه سائد فينشأ الشكل الهلالى من جديد. وعندما تنتشر الكثبان انتشاراً واسعاً حتى تغطى الأرض فإنها تأخذ شكل موجات البحر ذات حافات مرتفعة ومنخفضات بينية، وتعرف فى هذه الحالة بالكثبان المستعرضة Transverse Dunes وقد تعرف ببحر الرمال. وتتحرك الكثبان الهلالية بمعدل يتراوح بين ٨ ، ٢٠ متراً فى السنة (شكل ١٤٤).

٢- **الكثبان الطولية:** وتسمى أحياناً بالسيف Seif وهى كثبان تمتد موازية لاتجاه الريح. ويتكون هذا النوع من الكثبان فوق السهول وهضاب المناطق الجافة حيث كمية الرمال المتاحة لتكوين الكثبان قليلة ولكنها تتعرض لرياح سائدة فى اتجاه واحد. وتمتد تلك الكثبان لمسافات طويلة قد تصل إلى نحو ٣٠٠ كيلو متراً، ويصل ارتفاعها إلى ١٠٠ – ٢٠٠ متراً، ويبلغ عرض قاعدتها ستة أمثال ارتفاعها فى الغالب (شكل ١٤٥).

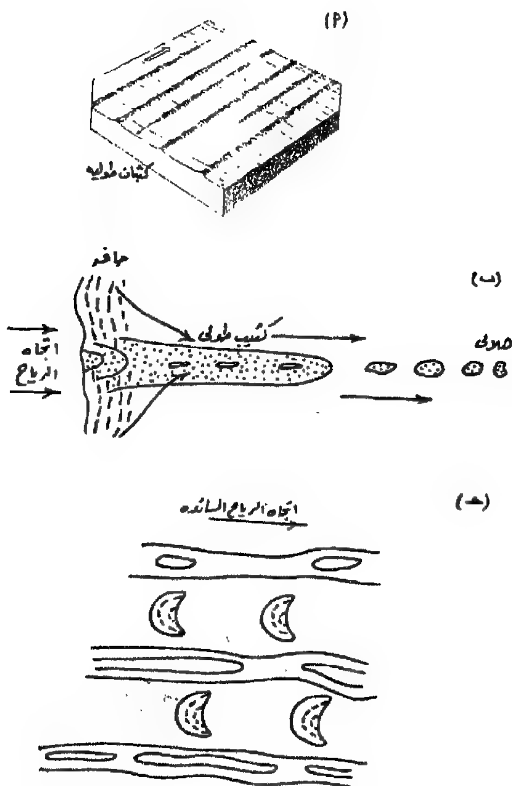
٣- هناك أشكال أخرى من الكثبان الرملية مثل الكثبان النجمية Star Dunes حيث تتلاقى بضعة أذرع رملية شعاعية الاتجاه فى مركز مرتفع يصل إلى نحو ١٠٠ متراً وبالتالى يظهر شكل النجمة. ويبدو أن الكثبان النجمية تظل ثابتة



شكل رقم (١٤٤)

أ- الكثبان الرملية الهلالية (البارخان)

ب- مراحل تكون الكثيب الهلالي وانتقاله في حركة أمامية



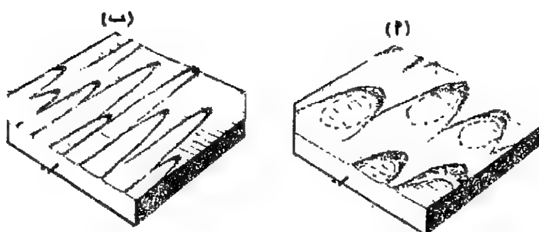
شكل رقم (١٤٥)

أ- الكثبات الرملية الطولية (السيوف الرملية)

ب- العلاقة بين اتجاه الريح وتكون الكثبان الطولية والهلالية

جـ- تكون الكثبان الهلالية في الدهاليز بين الكثبان الطولية (السيوف)

لفترة طويلة ومن ثم تعد علامات يهتدى بها فى المناطق الجافة. ومن أنواع الكثبان الأخرى الكثبان الهرمية Pyramidal Dunes والكثبان المتكومة Heaped Dunes وهى كومات ضخمة من الرمال (شكل ١٤٦).



شكل رقم (١٤٦)
أ- كثبان علي شكل قطع مكافئ Parabolic.
ب- كثبان رملية متوازية علي شكل دبابيس الشعر

٤- اللوس Loess، وهو عبارة عن تراكم غبار أتت به الرياح من أماكن بعيدة منذ ألاف السنين، وتجمع خلال عشرات الآلاف من السنين بحيث يصل سمكه إلى نحو ٥٠ متراً. واللوس مادة ذات شكل متجانس وتفتقد أى صفة طباقية واضحة، وتتعرض للتشقق Cleave والتكسر عند حوافها أو حيثما تتعرض للنحت على طول المجارى المائية، كما يحدث التشقق عندما تتعرض كتله اللوس للانكماش الشديد. ويبدو أن مصدر اللوس هو الركامات الجليدية التى ارسبتها الغطاءات الجليدية القارية عند انحسارها. فقد قامت الرياح الجافة التى كانت تهب فوق الغطاءات الجليدية وتتجه إلى الخارج فوق الأرض الجرداء التى تحف بالجليد بالتقاط السلت الذى كانت ترسبه المجارى المنبثقة من حافات الجليد المنصهرة، وقد استقر هذا الغبار السلتى فوق سطح الأرض وتراكم فى ظل ظروف مناخ رطب ووجود حشائش تلتقط ذراته وتحميها من إعادة تذريتها ونقلها. ويتركب اللوس من تكوينات دقيقة بنية اللون فاتحة أو تميل إلى الصفرة وأحياناً رمادية من معادن الكوارتز وكربونات الكالسيوم والفلسبار والميكا وبعض المعادن الثقيلة.

الفصل السابع

عمر الأرض والعامود الجيولوجي ومقياس الزمن والتاريخ الجيولوجي العام للأرض

- عمر الأرض.
  - تقدير عمر الأرض من حساب السمك الكلي للصخور الرسوبية.
  - تقدير عمر الأرض من حساب معدل الزيادة في ملوحة البحار.
  - تقدير عمر الأرض من حساب معدل التناقص في درجة حرارتها عند السطح.
  - تقدير عمر الأرض من حساب معدل سرعة تحلل العناصر المشعة.
- العامود الجيولوجي ومقياس الزمن للأرض.
- التاريخ الجيولوجي العام والجغرافيا الطبيعية القديمة للأرض.

  الزمن الأركي «حقب اللاحياة».

  حقب الحياة القديمة.

  - حقب الحياة القديمة المبكر.
  - حقب الحياة القديمة المتأخر.

  حقب الحياة الوسطى.

  حقب الحياة الحديثة.

الفصل السابع

عمر الأرض والعامود الجيولوجي ومقياس الزمن والتاريخ الجيولوجي العام للأرض

لحساب عمر أى شىء لابد من التأكد أولاً من تاريخ ميلاده، ولا تشذ الأرض عن هذه القاعدة، ولتقدير عمر الأرض لابد من معرفة متى ولدت؟ ويثور هنا سؤال مهم: هل ظهرت الأرض وبدأ تاريخها فى ميعاد معين يمكن تحديده، أم هى أزلية فى هذا الوجود لا يعرف لميلادها تاريخاً؟ وبينما يظن البراهمة من الهنود أن الأرض أزلية ليس لها بداية وأبدية ليس لها نهاية، إلا أن معظم الناس يوقنون أن الأرض قد خلقت فى موعد معين جرت الاجتهادات فى محاولات لتحديده. ومن أطرف تلك المحاولات ما قام به الاسقف الايرلندى أوشر Usher فى القرن السابع عشر، إذ حدد لحظة خلق الأرض فى يوم ٢٦ أكتوبر عام ٤٠٠٤ ق. م فى تمام الساعة التاسعة صباحاص طبقاً للدراسات التى أجراها فى نصوص العهد القديم (التوراة – سفر التكوين). وقد تطورت المحاولات بعد ذلك بالتفكير فى أصل الأرض ونشأتها ومحاولة تقدير عمرها بدلاً من تحديد لحظة ميلادها.

عمر الأرض

تقدير عمر الأرض من حساب السمك الكلي للصخور الرسوبية:

عندما تم التعرف على الأقسام المختلفة للزمن الجيولوجى، بمناظرة الطبقات الرسوبية ومضاهاتها بعضها ببعض بصورة تقريبية فى أماكن ظهورها فى الأنحاء المختلفة من العالم، نبتت فكرة امكان تقدير عمر الأرض من حساب السمك الكلى لجميع الطبقات المعروفة من أقدمها إلى أحدثها وقد أسفرت هذه الفكرة عن عملية تسجيل ضخمة لما لا يقل سمكه عن ١٦٠ كيلو متراً من الصخور الرسوبية. وبطبيعة الحال فإن هذا التتابع الضخم من الطبقات لا يوجد

كله فى مكان واحد بل تم تقدير الرقم المذكور عى أساس قياس أسمك الرواسب التى تمثل زمن ما فى أى مكان. بمعنى أن هذا الرقم هو إجمالى قياس أسمك قطاع فى العصر الكامبرى فى أحد الأماكن، وقياس أسمك قطاع فى العصر الجوارسى فى أحد الأماكن الأخرى، وقياس أسمك قطاع لعصر الايوسين فى أحد الأماكن وهكذا.

ولتقدير الزمن الذى استغرقه ترسيب السمك الإجمالى للطبقات الرسوبية، لابد من حساب معدل سرعة الترسيب في الأزمنة والعصور الجيولوجية المختلفة على أساس أنها لم تكن تختلف كثيراً عن معدل سرعة الترسيب فى الوقت الحاضر. وقد دلت الدراسات الحديثة على الأنواع المختلفة للرسوبيات فى بيئات متفرقة من العالم أن متوسط سرعة الترسيب في الوقت الحاضر هو ١,٥ ملم فى السنة وهذا يعنى أن عمر الأرض يتراوح بين ٨٠، ١٠٠ مليون سنة على الأقل.

وتقدير عمر الأرض بهذه الطريقة يشوبه كثير من المحاذير، فهناك احتمال أن سرعة الترسيب فى الماضى كان أبطأ بكثير من الوقت الحاضر، بالإضافة إلى أنه لم تبذل أية محاولات لتصحيح ما ينجم من خطأ نتيجة سيادة نوع معين من الرواسب فى العصور الجيولوجية القديمة المختلفة على الأنواع الأخرى. والواقع أن رواسب العصر الحالى تتميز بأن معظمها من النوع الفتاتى بينما معظم رواسب العصور الجيولوجية القديمة من الصخور الجيرية ا لتى تترسب بسرعة أقل بكثير من سرعة ترسب المواد الفتاتية. ولذلك فقد تم تصحيح تقدير عمر الأرض ليصل إلى ٢٠٠ مليون سنة.

وهناك ملاحظة أخرى فى غاية الأهمية تجعل من الرقم ٢٠٠ مليون سنة أقل بكثير من عمر الأرض، هذه الملاحظة هى عدم حساب الزمن الذى يمثل فترات انقطاع الترسيب عند أسطح عدم التوافق فى العامود الجيولوجى. وقد وجد أنه لتصحيح هذا التقدير يجب أن يضرب هذه الرقم فى معامل لا يقل عن ٢ ولا يزيد عن ١٥ ليعطى صورة أقرب إلى الصحة من طول الزمن الجيولوجى.

وبالرغم من الاحتياطات والتصحيحات الواجب الأخذ بها إلا أن هناك من الأسباب ما يدل على أن أى رقم يمكن الحصول عليه بهذه الطريقة لن يكون إلا تقديراً مقرباً جداً، ودون العمر الحقيقى للأرض. وأهم هذه الأسباب هو الصخور المتحولة التى تكون جزءاً من السجل الجيولوجى وتوجد أسفل أقدم أنواع الصخور الرسوبية، وليس هناك شك فى أنها كانت فى الأصل صخوراً رسوبية قديمة. ولكل هذا يتضح أن تقدير عمر الأرض عن طريق قياس السمك الكلى لطبقات الصخور الرسوبية يدخل فى حسابها كثير من المتغيرات والمحاذير مما لا يمكن معه الاعتماد عليها.

تقدير عمر الأرض من حساب معدل الزيادة في ملوحة البحار:

يتم تقدير عمر الأرض بهذه الطريقة من حساب المدة التى استغرقتها البحار حتى وصلت إلى درجة الملوحة التى عليها الآن (٣٥ فى الألف). وقد قدر حجم الماء فى الأحواض البحرية والمحيطية فوجد أنه حوالى ١٥٠٠ مليون كم٣، وحجم الملح الذائب فى هذه الكمية من المياه ٢٠ مليون كم٣، ويبلغ وزن هذا الملح ٤٠,٠٠٠ مليون طن. وتم حساب متوسط كمية الأملاح التى تنزحها الأنهار كل عام إلى البحر فوجد أنها حوالى ٤٠٠ مليون طن. وعلى هذا الأساس تكون المدة اللازمة لتصير مياه البحار والمحيطات على درجة الملوحة الحالية هى:

$$\frac{\text{٤٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ طن}}{\text{٤٠٠,٠٠٠,٠٠٠ طن}} = \text{١٠٠ مليون سنة.}$$

وقد دلت الدراسات فيما بعد أن معدل تزايد ملوحة البحار غير ثابت فى العصور الجيولوجية المختلفة نتيجة اختلاف تضاريس سطح يابس الأرض خلال تلك العصور. فالأرض تمر الآن فى فترة تتميز بوجود الجبال الشاهقة والأنهار النشطة التى تنحدر منها حاملة إلى البحر كميات من الأملاح أكبر مما كان يصل إليه فى العصور السابقة. وتشير الأبحاث إلى أن كميات من الأملاح أكبر مما كان يصل إليه فى العصور السابقة. وتشير الأبحاث إلى أن كميات الأملاح التى كانت تصل إلى البحر كل عام منذ أن وجدت المحيطات العذبة

فى أول الأمر، لا يمكن أن تتجاوز فى المتوسط عشر الكمية التى تصل إليه فى الوقت الحاضر. لذلك فإن عمر الأرض على أساس هذه الطريقة يجب أن يكون على الأقل عشرة أمثال الرقم السابق أى حوالى ١٠٠٠ مليون سنة. وبالرغم من ذلك لا يمكن أن يكون هذا التقدير لعمر الأرض نفسها ولكنه بلا شك تقدير لعمر المحيط فقط، ولا بد أن الأرض أقدم من ذلك.

تقدير عمر الأرض من حساب معدل التناقص في درجة حرارتها عند السطح:

صاحب هذه الطريقة هو عالم الفيزياء المشهور كالفن Kelvin وتعرف هذه الطريقة باسمه. وتتلخص هذه الطريقة فى أن الأرض آخذة فى البرودة التدريجية منذ نشأتها الأولى بدليل أن درجة الحرارة ترتفع بانتظام وبمعدل ثابت مع العمق (١م لكل ١٠٠ م). وقد تمكن كالفن بحساباته أنه حتى بفرض أن درجة حرارة الأرض فى أول نشأتها تقارب درجة حرارة الشمس الآن، فإن هذا لا يعطى لها عمراً لا يقل عن ٢٠ مليون سنة، ولا يزيد عن ٤٠ مليون سنة.

وقد أوقع تقدير كالفن هذا الدارسين فى حيرة شديدة، فهناك تعارض شديد بين التقدير المبنى على قياس سمك العامود الجيولوجى الرسوبى، وعلى قياس ملوحة البحار، وبين تقدير كالفن الذى لم يكن هناك من سبيل للطعن فيه لعدم معرفة أى مصدر للحرارة الأرضية – فى ذلك الوقت – يؤدى اهماله إلى ذلك التعارض الشديد فى النتائج. وبهذا ظل موضوع تقدير عمر الأرض لغزاً علمياً.

تقدير عمر الأرض من حساب معدل سرعة تحلل العناصر المشعة:

لم يمض فترة قصيرة على تقدير كالفن لعمر الأرض وما أثاره من حيرة، حتى اكتشفت ظاهرة غريبة فى بعض المعادن والصخور والتى عرفت فيما بعد بالاشعاع الذرى. وتعزى هذه الظاهرة إلى وجود مركبات للعناصر الثقيلة المشعة كالراديوم واليورانيوم فى تلك ا لصخور والمعادن. وقد أثبتت الدراسات فيما بعد على أن التحلل الذرى للعناصر المشعة وتحولها إلى عناصر خاملة مثل الرصاص والهليوم يصحبه انطلاق كميات من الطاقة والحرارة، وأن سرعة التحلل لكل عنصر مشع ثابتة لا تتغير ولا تتأثر بتغير الظروف الطبيعية من ضغط وحرارة.

وقد أدى اكتشاف ظاهرة الاشعاع الذرى فى بعض الصخور بنتائج هامة بالنسبة لتقدير عمر الأرض هى :

١- أن هناك مصدراً للحرارة والطاقة فى صخور الأرض لم يعرفه كالفن ولم يتناوله فى حساباته، وقد أطاحت هذه النتيجة بتقديره لعمر الأرض.

٢- أن عدم توقف سرعة التحلل الذرى فى المعادن المشعة على الظروف الطبيعية يقدم طريقة دقيقة وصحيحة لتقدير عمر الصخور الحاوية لها، وذلك من حساب معدل سرعة التحلل الذرى لهذه المعادن.

٣- أن بعض العناصر المشعة تتحلل ببطء شديد جداً حتى أن مئات الملايين من السنين قد تنقضى قبل أن يتحول جزء صغير من كميتها الأصلية إلى رصاص، ويمثل اليورانيوم أحد هذه العناصر. ويقدر عمر العنصر المشع بما يعرف بمعدل نصف الحياة أى الوقت الذى يستغرقه نصف أى كمية منه للتحول إلى رصاص وهليوم. ويبلغ معدل نصف الحياة لليورانيوم ٥×١٠^٩ سنة.

وقد أجريت أبحاث عديدة لحساب أعمار الصخور المختلفة المحتوية على عناصر مشعة، تلك الصخور التى أتت من أماكن متفرقة وأعماق مختلفة والتى تبلورت فى أزمنة متباينة ومتباعدة وذلك بحساب نسبة الرصاص والهليوم إلى ما تبقى من المواد المشعة. وقد أسفرت تلك الأبحاث عن تقدير عمر عينة من الصخور بـ ١٨٥٠ مليون سنة. وتشير تلك النتيجة إلى أن عمر أقدم الصخور النارية التى تبلورت على سطح الأرض لا يقل عن ٢٠٠٠ مليون سنة. وهناك شواهد جيولوجية وفلكية تدل على أنه لابد أنه قد مر زمن طوله ١٠٠٠ مليون سنة على الأقل قبل أن تتصلب تلك الصخور القديمة من مادة الأرض الأولية، أى أن عمر الأرض لا يقل عن ٣٠٠٠ مليون سنة. وقد أثبتت الأبحاث الحديثة أن عمر الأرض لا يقل بأى حال من الأحوال من ٤٥٠٠ مليون سنة.

العامود الجيولوجي ومقياس الزمن للأرض

يطلق مصطلح العامود الجيولوجي على التتابع الكامل لجميع الصخور المكونة للقشرة الأرضية من أقدم مكوناتها إلى أحدثها. وقد يستعمل أيضاً للدلالة على التتابع الصخرى الكامل الممثل في منطقة ما.

من المعروف أن العامود الجيولوجى لا يوجد ممثلاً كاملاً فى أى مكان على سطح الأرض وحتى عند تجميع سجل كامل لجميع الصخور الموجودة فى أنحاء الأرض، فإن هذا السجل لا يمثل كل الزمن الجيولوجى الذى تراكمت خلاله الصخور منذ أن تكونت للأرض قشرة صلبة، بل يتخلله على مستويات مختلفة ثغرات كثيرة من أسطح عدم التوافق تمثل فترات انقطاع أو توقف فى الترسيب نتجت عن نشاط الحركات الأرضية التى انتابت القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية.

ويقوم توقيت وتقسيم العامود الصخرى على نقطتين هامتين :

١- الاستفادة من التطورات والتغيرات المستمرة التى طرأت على الحياة الحيوانية والنباتية مع مرور الزمن.

٢- الاستعانة بوجود ثغرات فى السجل الصخرى تمثل اضطرابات فى القشرة الأرضية بعضها طفيف والآخر يصل إلى حد الثورات الجيولوجية.

وقد لوحظ من دراسة تفاصيل تاريخ الحياة على الأرض أن التغيرات الجوهرية الشاملة فى طبيعة الأحياء كانت دائماً تعاصر الثورات الكبرى فى القشرة الأرضية، مما جعل تقسيم السجل الصخرى إلى أقسام كبرى على أساس الثغرات الرئيسية فيه متسقاً مع تقسيم الزمن الجيولوجى إلى أحقاب على أساس تطور الحياة. أما التقسيمات الأصغر فانها تعتمد أكثر على تطور الحياة.

وقد دلت الدراسات على أن أقدم أنواع الصخور فى القشرة الأرضية والتى لا يوجد بها أية آثار للحياة قد بدأ ترسيبها بفعل عوامل التعرية التى كانت تنحت وتحطم الصخور النارية الأولية وتنقل فتاتها إلى البحر وذلك منذ ما لا يقل عن ٢٠٠٠ مليون سنة. أما أولى الآثار لأقدم أنواع الحياة البدائية فقد وجدت فى صخور رسوبية لا يقل عمرها عن ٥٠٠ مليون سنة.

ويسمى السجل الشاسع من الصخور الرسوبية الخالية من الحفريات، وكذلك الصخور المتحولة والنارية التى سبق تكوينها ذلك التاريخ بصخور ما قبل الكامبرى Precambrian أو الزمن الآركى Archean أو زمن اللاحياة. أما فترة الـ ٥٠٠ مليون سنة الأخيرة من عمر الأرض فتسمى بزمن الحياة والذى ينقسم إلى الأحقاب التالية :

١- حقب الحياة القديمة (الباليوزوى Palaeozoic Era).

٢- حقب الحياة الوسطى (الميزوزوى Mesozoic Era).

٣- حقب الحياة الحديثة (الكاينوزوى Cenozoic or Kainozoic Era).

ويقسم كل حقب من هذه الأحقاب إلى عصور على نفس الأسس التى يقوم عليها تقسيم الزمن الجيولوجى العام. ويمكن تلخيص التقسيم العام للزمن الجيولوجى وأنواع الحياة المميزة لكل قسم فى الجدول التالى رقم (٢١).

جدول (٢١)

التقسيم العام للزمن الجيولوجي وأنواع الحياة المميزة

الحقب		العصر		العمر/ مليون سنة	الأقسام المختلفة للحياة
حقب الحياة الحديثة	الزمن الرابع	الهولوسين	Holocene		الإنسان الثدييات الطيور الزواحف البرمائيات الأسماك الأعشاب البحرية واللافقاريات النباتات البرية
		البليستوسين	Pleistocene	٢	
	الزمن الثالث	البليوسين	Pliocene	١٢	
		الميوسين	Miocene	١٢	
		الأوليجوسين	Oligocene	١١	
		الايوسين	Eocene	٢٢	
		الباليوسين	Paleocene	٥	
الزمن الثاني حقب الحياة الوسطى		الكريتاسي	Cretaceous	٧٢	
		الجوارسي	Jurassic	٤٦	
		الترياسي	Triassic	٤٩	
الزمن الأول حقب الحياة القديمة		البرمي	Permian	٥٠	
		الكربوني	Carboniferous	٩٥	
		الديفوني	Devonian	٦٠	
		السيلوري	Silurian	٢٠	
		الأوردوفيشي	Ordovician	٧٥	
		الكامبري	Cambrian	١٠٠	
حقب اللاحياة		ما قبل الكمبري	Precambrian		
		أو الأركي	Or Archean		

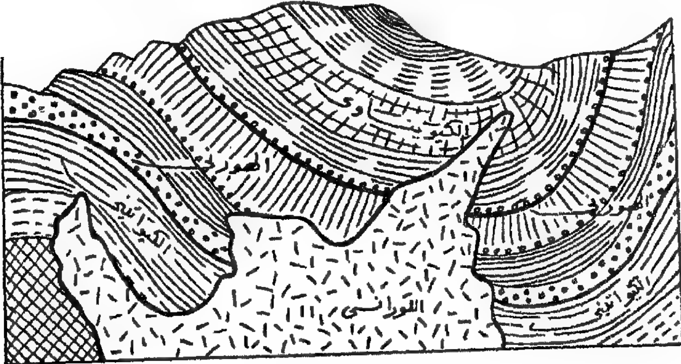
التاريخ الجيولوجي العام

والجغرافيا الطبيعية القديمة للأرض

الزمن الأركي «حقب اللاحياة»

يسمى هذا الزمن أحياناً بحقب ما قبل الكامبرى، ويمثل حوالى ـــ تاريخ الأرض. ويتبع هذا الزمن كل أنواع الصخور التى تكونت قبل أول عصر فى حقب الحياة القديمة أو العصر الكامبرى الذى يحمل بين طيات صخوره أقدم أنواع الحفريات. وتعتبر بداية العصر الكامبرى تاريخاً جيولوجياً هاماً، إذ بدأ السجل الجيولوجى فى الوضوح، وأصبح من الممكن تقسيمه إلى أقسام دقيقة محددة، ويرجع الفضل فى ذلك إلى وجود الحفريات. أما صخور ما قبل الكامبرى فإنها تفتقر إلى هذه الخاصية حتى أن مضاهاتها وتقدير أعمارها النسبية تعتبر من المشاكل الصعبة، كما أنهاتكون عادة متحولة تحولاً شديداً نتيجة لما تعرضت له من أحداث جيولوجية كبرى فى العصور التالية لتكونها.

وتعتبر منطقة نهر سانت لورنس فى كندا وهى جزء من الدرع الكندى، أقدم منطقة فى العالم أجريت على صخور ما قبل الكامبرى بها دراسات تفصيلية. وقد تمكن الدارسون من التعرف على أربعة أقسام كبرى بين صخور هذا الدرع (شكل ١٤٧) وهى مرتبة من الأقدم إلى الأحدث كالتالى :



شكل رقم (١٤٧)

تعاقب الصخور في الدرع الكندي

١- القسم الكيواتينى Keewatin division: ويضم أقدم أنواع الصخور الرسوبية.

٢- القسم اللورنسى Laurentian division: ويضم صخور من الجرانيت والنيس قديمة متدخلة وقاطعة لصخور القسم الكيواتينى.

٣- القسم الهورونى Huronian division: ويضم رسوبيات قديمة تعلو الصخور اللورنسية، ويفصل بينهما سطح عدم توافق واضح. وتحتوى تلك الصخور على جلاميد من الجرانيت والنيس من أصل لورنسى.

٤- القسم الكيويناوى Keeweenawan division: ويضم أحدث الصخور الرسوبية فى الدرع الكندى، ويفصل هذا القسم عن القسم الهورونى سطح ظاهر من عدم توافق واضح.

الظروف الجغرافية الطبيعية القديمة:

ظلت الأرض ردحاً طويلاً من الزمن وبعد أن تكونت لها قشرة صلبة تلتف بغلاف سميك من جو حار مشبع ببخار الماء وخال تقريباً من غاز الأكسجين. وبعد أن برد سطحها إلى الدرجة التي تسمح بتكاثف بخار الماء حتى سادت عصور طويلة من الأمطار الغزيرة التى كونت المسطحات المحيطية والبحرية. وقد بدأت الأمطار والأنهار تنحت فى صخور القشرة المتصلبة وتحمل المفتتات إلى قيعان البحار والمحيطات التى كان مياهها عذبة فى أول الأمر ثم ازدادت درجة ملوحتها شيئاً فشيئاً. وبذلك تكونت أول وأقدم الصخور الرسوبية على سطح الأرض.

ويمكن تصور أن سطح الأرض خلال زمن ما قبل الكامبرى كان قحلاً خاوياً من كل أثر للحياة والأحياء. كان جبالاً شاهقة وصحارى واسعة وبراكين منتشرة وحقول واسعة من الحمم الساخنة التى يتصاعد من سطحها البخار. وقد سجل الجيولوجيون فى صخور ما قبل الكامبرى شواهد لما لا يقل عن تسع فترات من الثورات الجيولوجية أدت إلى قيام سلاسل عالية من الجبال التى ظهرت تدريجياً خلال كل فترة. وقد تخلل تلك الفترات عصور أطول منها كانت تتآكل فيها الجبال القديمة حتى تزول ثم تخلفها جبال أخرى وهكذا.

ومن القرائن القوية التى تثبت أن جو الأرض فيما قبل الكامبرى كان يفتقر إلى غاز الاكسجين أو أنه كان خالياً منه تماماً، هو أن صخور ما قبل الكامبرى الرسوبية القديمة غير مؤكسدة نسبياً إذا ما قورنت بصخور الأحقاب التالية. ولا شك أن معظم الاكسجين الحر الموجود الآن فى الهواء يرجع سبب وجوده إلى النشاط الحيوى للنباتات الخضراء منذ نهاية ما قبل الكامبرى.

ويمتاز الزمن الأركى إلى جانب الحركات الأرضية الكبرى البانية للقارات، والتى أحدثت كثيراً من التحول فى الصخور، وقيام كثير من التراكيب البنائية المعقدة، بوقوع عصرين من عصور الجليد الكبرى فى تاريخ الأرض شملاً أجزاء كثيرة من العالم فى ذلك الوقت. وكان عصرا الجليد فيما قبل الكامبرى فى فترتين متباعدتين من ذلك الزمن، فكان أحدهما فى حوالى منتصف العصر الهوروني والآخر قرب انتهاء العصر الكيويناوى.

ويمكن التعرف على المستويات التى تحدد عصور الجليد فى صخور الزمن الأركى من وجود أنواع من الرواسب التى تتكون فى البيئات الجليدية مثل طبقات الكونجلوميرات المغطاة بالطين الجلمودى ورواسب التيلليت المرتكزة على المسطحات الجليدية المليئة بالحزوز والخدوش التى تحدثها الانهار الجليدية. وتمثل الرواسب الجليدية فيما قبل الكامبرى فترات قصيرة نسبياً من الزمن الجيولوجى الطويل الذى يمثله ذلك الحقب، ومع ذلك فقد وجدت فى أماكن كثيرة ومتباعدة كاسكتلندا وكندا وافريقيا الجنوبية والصين واستراليا.

ولا شك أن فترات الجليد القصيرة هذه لا تتعارض مع الاعتقاد بأن المناخ فى معظم الزمن الأركى كان دافئاً عموماً. ومما يؤيد ذلك وجود طبقات سميكة من الحجر الجيرى، وكذلك طبقات كثيرة من الجرافيت بين رواسب ما قبل الكامبرى. وبينما تدل رواسب الحجر الجيرى السميكة على المناخ الدافئ، فإن رواسب الجرافيت تشير إلى جانب ذلك أيضاً على وجود بعض أنواع الحياة البدائية بكثرة، فالجرافيت يرجع أصله ولا شك إلى وجود بعض الكائنات البدائية وخاصة الأعشاب البحرية.

وتمثل الصخو ر الجيرية والجرافيتية التابعة للزمن الأركى مشكلة لم يجد لها العلماء حلاً حاسماً حتى الآن إلا وهى أصل الحياة فى ذلك الزمن. وقد قدر ما تحمله بعض التكاوين الجيرية من صخور ما قبل الكامبرى فى الدرع الكندى فوجدت أنها تحمل من رواسب الجرافيت ما تحتوى على كربون يوازى ذلك الذى تحمله جميع الطبقات الفحمية التابعة للعصر الكربونى فى أمريكا الشمالية.

وتعتبر التكاوين الجيرية وطبقات الجرافيت أدلة غير مباشرة على وجود الحياة فى زمن ما قبل الكامبرى. أما من جهة الأدلة المباشرة فلسوء الحظ ليس هناك دليل واحد معقول، اللهم إلا بعض البقايا التى يحيط بحقيقتها الحفرية شك كبير.

وإزاء هذه الأدلة غير المباشرة لوجود الحياة فى زمن ما قبل الكامبرى، فإنه يجب علينا أن نجد تفسيراً للغز ظهور أنواع مختلفة كثيرة من الحفريات فجأة مع بداية عصر الكامبرى. ويشير وجود هذه الحفريات بكثرة إلى أنه لابد قد مرت فترة طويلة جداً من التطور قبل ظهور تلك الأنواع الممثلة بهذه الحفريات. فماذا حدث إذن لسجل أسلاف هذه الحفريات فى عصور ما قبل الكامبرى؟ هناك ستة فروض قدمت لمحاولة تفسير هذا السؤال :

١- حفريات ما قبل الكامبرى قد انمحت معالمها وزالت نتيجة الحركات الأرضية الجبارة وعمليات التحول الصخرى الشديدة التى انتابت صخور ذلك الحقب.

٢- كائنات ما قبل الكامبرى لم يكن لها هياكل صلبة حيث أن مياه البحار فى ذلك الحقب لم يكن بها بعد التركيز الكافى من أملاح الكالسيوم.

٣- كانت مياه محيطات ما قبل الكامبرى حامضية لدرجة يتعذر معها افراز هياكل جيرية.

٤- صخور ما قبل الكامبرى التى تم دراستها حتى الآن ترسبت جميعها على اليابس أو فى المياه العذبة.

٥- نشأت الكائنات الحية أولاً فى التربة ثم نزحت ببطء إلى المحيطات فلم تصل اليها إلا مع بدء عصر الكامبرى.

٦- كائنات ما قبل الكامبرى لم يكن لها هياكل صلبة وربما يرجع ذلك إلى أحد سببين :

(أ) اما أنها كانت تعيش طافية فوق سطح الماء، فلم يكن مما يساعدها على مثل تلك الحياة أن تكون لها هياكل ثقيلة.

(ب) أو أن طريقة الحياة الجالسة أو البطيئة لم تكن قد ظهرت بعد.

أما بخصوص الفرض الأول فقد سجلت فعلاً بعض الاستثناءات لهذه القاعدة العامة بالنسبة لتكاوين ما قبل الكامبرى، ولكن الأبحاث لم تسفر عن بقايا مؤكدة لكائنات حية.

أما الفرض التى فيعتمد أساساً على أنه لم يكن فى حقب ما قبل الكامبرى كائنات رمّية فكانت المواد العضوية الميتة تتحلل بكثرة نتيجة عمل البكتيريا فيتولد عن تلك العملية كثير من غاز الامونيا. وتتفاعل كربونات الامونيا مع أملاح الكالسيوم الذائبة في مياه البحر والتى تجلبها إليه الأنهار فتترسب تبعاً لذلك كربونات الكالسيوم فى الحال. وبذلك لا تكون هناك أملاح كالسيوم ذائبة تحت تصرف الكائنات الحية لتبنى منها هياكلها. غير أنه من المعروف الآن أن البحار تغص بنوع خاص من البكتيريا تعتمد فى عملياتها الحيوية على استخلاص النتروجين من أملاح الامونيا وتسمى بالبكتيريا النتروجينية، وهذه تحد من كمية الامونيا فى مياه البحار. وليس هناك من سبب معقول يمنع فرصة وجود مثل هذه البكتيريا فى بحار ما قبل الكامبرى.

وبالإضافة إلى ذلك فإن هناك قرينة أخرى تعارض النظرية التى تقول بتسمم مياه البحار الأولى بالأمونيا، وهى أن تلك الحالة لم تكن لتشل قدرة الحيوانات على استخلاص هياكل جيرية من تلك المياه فقط، بل انها كانت تمنع وجود أى نوع من الحياة اطلاقاً.

أما بخصوص الفرض الثالث فهناك بعض القرائن التى تشير إلى أن مياه البحر الأولى كانت حمضية قليلاً، وهذا مما يمنع ولا شك افراز هياكل جيرية. وقد يتفق مع هذه النظرية أيضاً أن بعض الكائنات البدائية مثل الراديولاريا

والاسفنج ليس لها هياكل جيرية بل سيليكية، ولكن العثور على حفريات للطحالب الزرقاء المخضرة فى بعض صخور ذلك الحقب يقف فى سبيل هذه النظرية.

والمعتقدون فى الفرض الرابع يفترضون أن القارات فى حقب ما قبل الكامبرى لابد أنها كانت أكثر اتساعاً منها فى الوقت الحاضر، وبالتالى فنحن إذا أردنا أن نبحث عن حفريات لكائنات بحرية، فعلينا أن نبحث عنها تحت قيعان المحيطات الحديثة. ويعترض على هذا الفرض بعض الدارسين إذ أنه لا يمكن استبعاد حدوث رواسب من ذلك الحقب فى خلجان متوغلة فى تلك القارات القديمة، ولابد أن هناك كل الفرص لامكان الكشف عنها.

أما بخصوص الفرض الخامس فإن الاعتراض عليه ينصب على فرض مرور زمن طويل جداً أكثر مما يجب لنزوح الحياة ووصولها إلى المحيطات.

وقد يكون الفرض السادس أنسب هذه الفروض لتفسير تلك الظاهرة الغريبة عن فجائية ظهور الحفريات فى الزمن الكامبرى، إلا أنه لم يقدم أيضاً تفسيراً شافياً لعدم تسجيل التدرج فى ذلك.

طبيعة وجود صخور حقب ما قبل الكامبري:

هناك شكلان أساسيان لوجود صخور هذا الحقب، وهما :

١- فى قلب سلاسل الجبال العظمى ممثلة لجذورها. وقد تكاتفت حركات الرفع الكبرى والتعرية فى إظهار هذه الصخور العتيقة.

٢- فى الدروع الصلبة القديمة.

وحيثما توجد صخور ما قبل الكامبرى فهى تسمى بمركب الأساس Basement Complex وغالباً ما تحتوى على كميات كبيرة من الثروة المعدنية.

حقب الحياة القديمة (الباليوزوي):

يستغرق هذا الحقب ٣/٥ السجل الصخرى الحاوى للحفريات، ويمكن تقسيمه إلى قسمين أساسيين :

أولاً: حقب الحياة القديمة المبكر ويشمل:

١- عصر الكامبرى.

٢- عصر الاردوفيشى.

٣- عصر السيلورى.

ويسمى ذلك القسم بعهد اللافقاريات.

ثانياً: حقب الحياة القديمة المتأخر ويشمل:

١- عصر الديفونى.

٢- عصر الكربونى.

٣- عصر البرمى.

ويسمى عصر الديفونى بعهد الأسماك، أما العصران الكربونى والبرمى فيسميان بعهد البرمائيات.

حقب الحياة القديمة المبكر (مدته ١٩٥ مليون سنة):

الأحوال الجغرافية:

بدأت البحار الضحلة فى عصر الكامبرى تطغى على كثير من أرجاء اليابس، وترسبت الرمال أولاً ثم تلتها طبقات سميكة من الطين الأسود الذى تصلب فيما بعد ذلك وتحول إلى طفل ثم تحول إلى أردواز. وقد استقرت تلك الرواسب فى أحواض كانت تهبط ببطء وتغمرها مياه المحيط بالتدريج. والأرجح أن المناخ فى ذلك العصر كان متجانساً ويدل على ذلك وجود الرسوبيات الجيرية وشعاب الاسفنج المرجانى المميز للمياه الدافئة فى مناطق متباعدة كجرينلاند والمغرب والقارة القطبية الجنوبية.

ولم تسفر الأبحاث عن أية معلومات أكيدة عن المناطق اليابسة فى ذلك العصر إلا أن هناك بعض الشواهد تدل على أن بعضها كان صحراوياً. وفى نهاية ذلك العصر بدأت حركة تقهقر عامة وانحسار للبحار الكامبرية مخلفة مساحات شاسعة من الأرض. ويتميز بدء العصر الاردوفيشى بطغيان جديد

للبحار. وقد أدى ذلك إلى وجود سطح عدم توافق واضح يعين الحدود الجيولوجية التى تفصل بين العصرين فى كثير من أنحاء اليابس.

والراجح أن المناخ كان دافئاً عموماً خلال العصر الاردوفيشى، ومما يدل على ذلك سعة انتشار الصخور الدولوميتية فى بقاع كثير من العالم فى ذلك العصر. وقد سجلت الأبحاث ثورانات بركانية فى قيعان بعض البحار الاردوفيشية كما هو الحال فى صخور ويلز الوسطى ببريطانيا.

وقد ظلت الأحواض والمنخفضات البحرية تتابع هبوطها الذى بدأته فى عصر الكامبرى حتى أوائل العصر السيلورى إلى أن امتلأت برواسب سميكة من الرمال والطين. وكان معدل الهبوط مساوياً تقريباً لمعدل تراكم الرواسب مما أدى إلى احتفاظ هذه البحار طوال تلك العصور بعمق متوسط تقريباً.

وقد كشفت الأبحاث عن هزات أرضية موجبة وسالبة حدثت على التعاقب فى بعض المناطق خلال العصر السيلورى إلا أن نشاط البراكين لم يكن ملحوظاً كما كان فى العصر الذى سبقه.

والراجح كذلك من دراسة الحفريات وتوزيعها أن المناخ ظل حتى نهاية العصر السيلورى متجانساً فى معظم أنحاء العالم ولو أن هناك بعض الشواهد الجيولوجية فى صخور ذلك العصر تدل على قيام الظروف الصحراوية فى بعض المناطق.

وفيما يلى ملخص عن سجل الحياة فى هذا القسم المبكر من حقب الحياة القديمة :

الحياة النباتية :

لم تتمثل الحياة النباتية فى العصرين الكامبرى والأردوفيشى سوى بالأعشاب البحرية فقط التى أخذت تحيط خلاياها بطبقة من الجير ابان العصر الأردوفيشى وخلال العصر السيلورى وذلك مما ساعد على الاحتفاظ بحفرياتها فى الصخور. ويشتهر أواخر العصر السيلورى بظهور أول أنواع النباتات الأرضية البدائية والتى عثر على حفرياتها فى السيلورى الأعلى باستراليا.

الحياة الحيوانية:

بدأ في العصر الكامبرى ظهور أصناف عديدة من الحيوانات عديمة العمود الفقرى فى البحار وكانت معظم هذه الأصناف ذات هياكل جيرية صلبة مكنتها من ترك حفريات ظاهرة في الصخور. ولم ينته ذلك العصر حتى كانت كل قبائل اللافقاريات ممثلة فى سجل الصخور الرسوبية البحرية. فقد ظهرت قبائل الأوليات والاسفنجيات والجوفمعويات والجلد شوكيات والمسرجيات والجماعيات والرخويات والمفصليات والديدان.

ومن أهم فصائل اللافقاريات التى يتميز بها حقب الحياة القديمة المبكر هى نوع من الجوفمعويات البرمائية يسمى بالجرابتوليتGraptolite ونوعان من المفصليات هما التريلوبيت Trilobite والبوريبريد أو عقارب البحر.

أما من ناحية الفقاريات فقد ظهرت أوائل الأسماك ممثلة فى أصناف عديمة الفكوك وجدت فى الزمن الاردوفيشى.

حقب الحياة القديمة المتأخر (مدته ١٧٥ مليون سنة):

الأحوال الجغرافية:

أدت الحركات الأرضية المصحوبة بالنشاط البركانى فى أواخر العصر السيلورى إلى ارتفاع سلاسل الجبال بالتدريج فى الأماكن التى كانت تغطيها البحار قبل ذلك، واستمرت هذه الحركة البانية للجبال طوال العصر الديفونى وصاحبتها نشاط كبير فى التعرية على نطاق واسع فى الجبال المكونة حديثاً فنتج عن ذلك كميات هائلة من الحصى والرمل والطين التى ترسبت فى أحواض الترسب الداخلية، ودالات الأنهار والشواطئ. ويعتبر التكوين المشهور فى أوربا والمسمى بالحجر الرملى الأحمر القديم من نتائج تراكم هذه الرسوبيات. أما فى المناطق البعيدة عن دالات الأنهار فقد نمت الشعب المرجانية وترسبت صخور الحجر الجيرى.

وقد اتسعت البحار الضحلة خلال ا لنصف الأول من العصر الكربونى، وكانت الشعاب المرجانية المستديرة من الملامح الجغرافية التى ميزت بحار

ذلك العهد. ويمكن القول بأن مياه البحار كانت دافئة عموماً في ذلك العصر من الانتشار الواسع للمراجين المركبة في معظم أنحاء العالم. ولابد أن المناخ على اليابس كان دافئاً كذلك وعلى درجة من الرطوبة تساعد على ازدهار الغابات والمروج الكثيفة التي كونت رواسب الفحم التابعة للعصر الكربوني الأسفل المعروفة في الاسكا ومنطقة موسكو وغيرهما.

ومع بدأ العصر الكربوني الأعلى نشطت حركة رفع كبرى برزت من جرائها قيعان البحار القديمة فوق سطح الماء كونت مساحات شاسعة من الأرض المنبسطة في نصف الأرض الشمالي. وبينما استمرت الأرض في الارتفاع في هذه الأماكن كانت هناك حركات هبوط تدريجي في أماكن أخرى مكونة أحواضاً منخفضة تنتشر فيها البحيرات الواسعة. وحينما كانت تسود فترات طويلة من الهدوء الجيولوجي في أماكن الهبوط فإن البحيرات كان يملؤها الطمي والغرين وتتحول إلى مستنقعات تكتنفها الغابات الكثيفة وتتراكم فيها بقايا النباتات المتعفنة لتكون رواسب «البيت» أو الخشب الصخري وهو أول درجات الفحم الذي يتحول في النهاية إلى الفحم الحجري المشهور به ذلك العصر. وكثيراً ما تتخلل فترات الهدوء فترات هبوط سريع كان البحر يطغى فيها مؤقتاً على المستنقعات الفحمية مكوناً رسوبياً حجرية عادية تفصل بين الطبقات الحاملة للفحم.

ويستدل من الانتشار الواسع لرواسب الفحم في أجزاء كثيرة من العالم على أن المناخ في العصر الكربوني الأعلى كان دافئاً عموماً ورطباً مطيراً ومتجانساً في معظم أنحاء الأرض. وقد وجدت رواسب واسعة من الشعاب المرجانية تتبع ذلك العصر في جزر سبتزبرجن التي تقع الآن في المنطقة المتجمدة الشمالية ويعتبر هذا دليلاً آخر على طبيعة المناخ في ذلك الوقت.

وقد بلغت الحركات الأرضية التي نشأت مع العصر الكربوني ذروتها في الزمن البرمي. وتكونت خلال ذلك العصر سلاسل جبلية صاحب قيامها نشاط بركاني واسع وتكون كذلك كثير من البحار الداخلية المقفولة المحاطة بالصحاري الواسعة والتي هي بقايا البحار القديمة الكبرى. وبازدياد البخر في

هذه البحار ازداد تركيز الملح فى مياهها وتحولت أخيراً إلى بحيرات منفصلة جفت تقريباً مع انقضاء ذلك العصر مخلفة رواسب سميكة من الملح الصخرى والبوتاس. أما فى البحار المفتوحة.فكانت تتراكم الرواسب البحرية العادية من الطين والحجر الجيرى.

وكان المناخ فى العصر البرمى شديد التفاوت والاختلاف ففى نصف الأرض الشمالى تدل الطبقات الحمراء وما يصاحبها من رواسب الملح على مناخ صحراوى فى معظم الانحاء، ومع ذلك فهناك بعض الأماكن تحتوى على حقول الفحم البرمي والتى لابد كان المناخ السائد فيها حاراً ورطباً أو على الأقل معتدلاً مطيراً. أما فى النصف الجنوبى فيدل الانتشار الواسع للرواسب الجليدية على مناخ قطبى شديدا البرودة فى معظم أنحاء قارة جوندوانا القديمة.

سجل الحياة في العصر الديفوني :

ظهرت أنواع من اللافقاريات البحرية مميزة لذلك العصر وأهمها المرجان المفرد المسمى Calceola . وكانت المسرجيات أهم اللافقاريات البحرية المميزة لذلك العصر، كما ظهر من قبيلة الرخويات أقدم أنواع الامونيت. كما يتميز العصر الديفونى كذلك بانقراض رتبة الجرابتوليت.

أما من ناحية الحياة الفقارية فإن العصر الديفونى كثيراً ما يعرف باسم عصر الأسماك إذ ازدهر فى أنهاره وخلجانه نوع من الأسماك المدرعة عديمة الفكوك وهي لم تكن أسماكاً حقيقية ولكنها كانت كائنات شبيهة بالأسماك. أما الأسلاف الأولى للأسماك الحقيقية فلم تظهر إلا حول منتصف ذلك ا لعصر.

وقد كانت بعض الأسماك الديفونية القشرية ذات رئات وزعانف مزدوجة تشبه الأطراف ولابد أن تلك الأسماك العجيبة كانت لها القدرة على أن تزحف راجعة إلى الأنهار والخلجان إذا ما خلفها المد والجزر أو الجفاف على الأرض خارج حدود بيئاتها. ويعتقد الكثيرون أن هذه الأسماك تمثل أصل الفقاريات البرية الأولى. والواقع أن البرمائيات الأولى كانت قد ظهرت فعلاً فى أواخر العصر الديفونى.

لم تختلف الحياة النباتية البرية كثيراً عما كانت عليه فى العصور السابقة غير أنه قرب انتهاء العصر الديفونى ظهرت أوائل تلك الأنواع المنقرضة من النباتات غير المزهرة مثل السرخسيات ونبات ذيل الحصان.

العصر الكربوني الأسفل:

تعتبر الأجناس التالية من أهم مميزات الحياة اللافقارية البرية فى ذلك الوقت وهى مرجان مفرد من الرباعيات انقرض قبل نهاية الزمن الكربونى، ورتبه من المسرجيات تمتاز بالأشواك، ورتبة أخرى من الرخويات الحلزونية.

العصر الكربوني الأعلى:

فى هذا العصر تحددت معظم أنواع الحياة المميزة على اليابس، فقد تكاثرت البرمائيات وازدهرت حتى غصت بها المستنقعات والغابات الكثيفة المكونة من السرخسيات الضخمة ونبات ذيل الحصان. وقد بلغت هذه البرمائيات أحجاماً كبيرة فى ذلك العصر فكانت منها عمالقة تعدت أطوالها العشرة أقدام.

وظهرت الحشرات المجنحة لأول مرة فى أرجاء تلك الغابات وتكاثرت فى سرعة مذهلة حتى أنه يعرف منها الآن عدة آلاف من الأنواع المختلفة وكانت بالطبع الغذاء الأساسى للبرمائيات، ومن المحتمل أن تكون عقارب البحر السيلورية التى أشرنا إليها سابقاً هى أسلاف تلك الحشرات الأولى التى بلغ الكثير من أنواعها أحجاماً هائلة، إذ تم التعرف على بعض الأنواع التى يصل عرضها حوالى $\frac{٣}{٤}$ متر عندما تنشر جناحيها.

العصر البرمي:

تمتاز الحياة اللافقارية فى العصر البرمى بقلتها من حيث الأجناس والأنواع وكذلك بضآلة هذه الأجناس فى الحجم، ويرجع ذلك إلى ما ذكر من تحول معظم البحار الكبيرة فى ذلك العصر إلى بحار داخلية صغيرة انفصلت عن المحيط، وارتفعت درجة ملوحتها حتى لم تعد البيئة فيها مناسبة لنمو الحيوانات ووصولها إلى الحجم الطبيعى.

والحقيقة أن التغير العظيم فى طبيعة المناخ والبيئة مع حلول عصر البرمى

من الجو الرطب الحار إلى الجو البارد الصحراوى قد أثر على الحياة القديمة تأثيراً كبيراً وأفنى عدداً ضخماً من الأجناس التى كانت تميز الحقب القديم. ولم يخرج من هذه المحنة المناخية سوى بعض الأنواع التى تمكنت من تكييف أجسامها وأجهزتها لمواجهة التغيرات الجديدة. لذلك نجد أن البرمائيات التى ازدهرت وملأت ربوع الغابات والشواطئ قد أفل نجمها وتطورت منها الزواحف التى يمكنها أن تتحمل البيئة الصحراوية والجفاف والابتعاد عن الماء.

أما فى عالم اللافقاريات فنجد أن العصر البرمى لا يعرف بظهور أنواع جديدة ملحوظة ولكنه يمتاز بانقراض تلك الأنواع التى كانت تميز حقب الحياة القديمة عامة مثل الجرابتوليت والتريلوبيت وعقارب البحر التى اندثرت نهائياً ولم تترك لها خلفاً فى العصور التالية. أما فى قبائل الرخويات والجلدشوكيات فقد حدث نشاط كبير وتقدم ظاهر فى الأشكال والأنواع التى تطورت إلى أنواع عديدة متباينة فى حقب الحياة الوسطى.

حقب الحياة الوسطى:

يمثل هذا الحقب حوالي $\frac{١}{٤}$ السجل الصخرى الحاوى للحفريات تقريباً، وينقسم إلى ثلاثة عصور مرتبة من الأقدم إلى الأحدث :

* الترياسى وطوله ٤٩ مليون سنة.
* الجوراسى وطوله ٤٦ مليون سنة.
* الكريتاسى أو الطباشيرى وطوله ٧٢ مليون سنة.

الأحوال الجغرافية العامة:

ظلت الظروف المناخية العامة التى كانت تميز العصر البرمى سائدة خلال العصر الترياسى. وكانت هذه تمتاز كما ذكر من قبل ذلك بالمناخ الصحراوى واتساع رقعة المناطق الصحراوية وانتشار البحار الكبيرة المقفولة، إلا أن العصر الترياسى يختلف عن نهاية حقب الحياة القديمة بخلوة من أية آثار تدل على استمرار الأحوال الجليدية. ويستدل على قيام الظروف الصحراوية فى العصر الترياسى من انتشار تلك الرواسب الفتاتية الحمراء المعروفة باسم الحجر الرملى

الأحمر الحديث والتى تحتوى على آثار لزواحف بائدة وحفريات لطوابع قطرات المطر. كذلك يستدل عليها بانتشار الرواسب الملحية بين تكاوين ذلك العصر.

ومن أهم المميزات الجغرافية ذات النطاق العالمى فى العصر الترياسى وفى حقب الحياة الوسطى على وجه العموم هو انفصال القارات الشمالية عن قارة جندوانا القديمة فى الجنوب انفصالاً تاماً بواسطة محيط متوسط مستطيل يعتبر المرحلة الأولى فى تطور البحر المتوسط الحالى. ويسمى هذا المحيط القديم ببحر (التثيس) الذى كان يمتد كشريط عريض من المياه من الشرق إلى الغرب عبر أوربا الجنوبية ووسط آسيا حتى جزر اندونيسيا، وكان يبرز منه خلجاناً واسعة ضحلة تغطى المانيا وجزءاً كبيراً من فرنسا.

ويمكن القول بأن الحرارة فى البحار الترياسية كانت دافئة عموماً وذلك من الانتشار الواسع للشعاب المرجانية وكذلك من ترسيب صخور الدولوميت على نطاق واسع فى ذلك العصر. أما المناخ على اليابس فقد كان صحراوياً عموماً إلا أن هناك أدلة تشير إلى تدرج المناخ نحو الرطوبة عند أواخر ذلك العصر.

وقد بدأ عصر الجوراسى بطغيان عظيم للبحار على مساحات شاسعة من اليابس، أما الجبال العالية التى كانت تميز ملامح الأرض فى البرمى والترياسى فقد تحولت إلى بطاح منخفضة. وتضاءلت القارة الجنوبية الكبرى أو جندوانا فى الحجم، إذ طبقاً لنظرية فيجنر قد انقسمت إلى عدة كتل مع بداية ذلك العصر. كما أن بحر التثيس قد امتد وطغى على مناطق شاسعة من جنوب أوربا وشمال أفريقيا والشرقين الأوسط والأقصى. كما اتسعت فى ذلك العصر السهول ذات المستنقعات والبحيرات والأنهار، أما المناطق الصحراوية فقد انكمشت وقلت مساحتها.

أما مناخ عصر الجوراسى فقد كان معتدلاً ومتجانساً عموماً، وكان المطر كافياً لنمو غابات كثيفة فى أماكن كثيرة من العالم. ويلاحظ أن حفريات بعض أشجار ذلك العصر تحمل حلقات النمو مما يدل على أن المناخ فى بعض المناطق كان يتميز بالفصول. ولم يعثر فى صخور عصر الجوراسى على شواهد تدل على قيام الأحوال الجليدية.

ويعتبر عصر الكريتاسي من أطول عصور الهبوط القاري المستمر في تاريخ الأرض فاتسعت خلاله المناطق التي غطتها البحار الضحلة اتساعاً عظيماً. ويمكن القول أن المناخ كان معتدلاً ومتجانساً في كل أرجاء الأرض وذلك من انتشار الحفريات النباتية الكثيرة التي تدل على الازدهار الواسع للغابات والمروج والادغال في معظم انحاء اليابس حتى في الأمكنة البعيدة مثل شمال جرينلاند. وقد كانت الرسوبيات البحرية في أوائل العصر الكريتاسي تتكون أساساً من رمال خضراء وطفل وطين أزرق ثم تحول الترسيب في أواخر العصر إلى الطباشير غير المختلط بالطين أو الطفل. ويدل ذلك على أن اليابس كان قد تآكل إلى درجة كبيرة جداً فلم تعد هناك مرتفعات تقريباً تأتي منها الأنهار بالفتات الصخري الذي يكون الرمل والطفل، فاقتصر ترسيب البحار على طبقات سميكة من الطباشير والجير وهي رواسب تأتي من ماء المحيط نفسه.

سجل الحياة :

يختلف سجل الحياة في هذا الحقب اختلافاً بيناً عنه في الحقب السابق. فجميع أنواع الحياة التي كانت تميز حقب الحياة القديمة كمجموعات التريلوبيت والجرابتوليت والمراجين الرباعية والعقارب البحرية وغيرها بادت عن آخرها، واحتلت مكانها أصناف أخرى جديدة بدأت تنتشر وتزدهر تدريجياً. فظهرت المراجين السداسية منذ العصر الترياسي وازداد انتشارها تدريجياً بعد ذلك. أما الرخويات وهي أهم عناصر الحياة البحرية من بين اللافقاريات فقد انتشرت بجميع فروعها انتشاراً غزيراً لم يسبق له مثيل. وقد كانت الرأسقدميات وهي احدى طوائف الرخويات أظهر مجموعات اللافقاريات التي ميزت حقب الحياة الوسطى والتي انقرض معظمها مع نهايته. وقدل كان من أبرزها حيوانات تشبه الاخطبوط الحديث. كما تعددت أعضاء رتبة الأمونيت، وأجناس كثيرة من المسرجيات، وتطورت رتب وأجناس لا حصر لها من مجموعة الجلد شوكيات.

أما في عالم الفقاريات فقد كان للزواحف الشأن الأعظم فقد خلفت البرمائيات التي انتشرت في الحقب السابق. وبلغت الزواحف في حقب الحياة الوسطى أحجاماً هائلة مخيفة، وكانت منها الأصناف الخضرية واللحومية

والبرية والمائية وحتى الهوائية أيضاً، لذلك فإن حقب الحياة الوسطى يسمى بعصر الزواحف. ولقد كانت هناك زواحف تشبه الأسماك والحيتان تسكن البحار فى عصر الجوراسى. وكانت هناك زواحف برية بلغت غاية فى الضخامة تسمى الديناصوريات منها وحوش ضارية سكنت البرارى والجبال مثل جنس Tyranosaurus ومنها مخلوقات بلغت فى احجامها ما لم تبلغه مخلوقات أخرى طوال الزمن الجيولوجى وكانت معظمها خضرية. وعاشت خلال ذلك الحقب أيضاً زواحف تشبه التماسيح ولكنها ذات أجنحة كأجنحة الخفافيش.

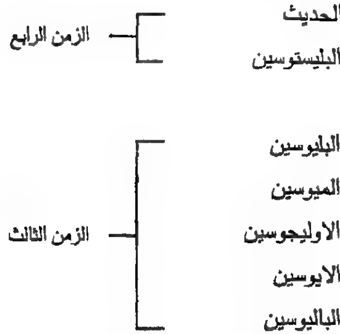
ويظهر أن أجداد الطيور قد نشأت من بعض الزواحف الديناصورية إذ وجدت بعض حفريات فى العصر الجوراسي تشبه الديناصورات الصغيرة ذات فكوك بها أسنان وذات أطراف أمامية بأصابع، وذات ذيول طويلة مكونة من عدد كبير من الفقرات، ولكن جسمها كان مغطى بالريش وتسمى هذه الحفريات باسم Archaeopteryx والطائر القديم.

وكما انقرضت جميع أنواع الأمونيت والبلمنيت فجأة مع نهاية العصر الكريتاسى، فإن جميع الزواحف المائية والطائرة ومعظم الزواحف الأرضية قد انقرضت هى الأخرى فجأة فى نفس الوقت. ولابد أن الأسلاف الأولى للثدييات كانت موجودة خلال عصور الحياة الوسطى إلا أنها كانت دقيقة الحجم وكانت تعيش على هامش الحياة فى ذلك الوقت الذى كانت تسيطر فيه الزواحف الكبرى على الأرض، فلما انقرضت هذه فجأة مع نهاية العصر الكريتاسى تركت الميدان خالياً لنمو الثدييات الأولى البدائية وتطورها فظهرت منها رتب وأجناس عديدة مع مقدم فجر الحياة الحديثة.

أما فى عالم النبات فإن النباتات السيكاسية والمخروطية تطورت تطوراً كبيراً وميزت غابات حقب الحياة الوسطى حتى أن العصر الجوراسى يسمى أحياناً بعصر السيكاس والصنوبر. وكذلك ظهرت أوائل النباتات المزهرة إلا أنها لم تكن شائعة وسط غابات السيكاس ولم تحتل مكاناً بارزاً الا مع أوائل حقب الحياة الحديثة.

حقب الحياة الحديثة :

مدته حوالى ٥٧ مليون سنة، وينقسم إلى قسمين: الزمن الثالث Tertiaryوهو الأقدم، والزمن الرابع Quaternary وهو الأحدث. وعلى أى حال فإن الحقب كله ينقسم إلى سبعة عصور هى :



الأحوال الجغرافية في حقب الحياة الحديثة :

بدأ هذا الحقب بتراجع للبحار فى أغلب مناطق العالم فاتسعت رقعة القارات ولكن سرعان ما تلا ذلك حركات طغيان وانحسار متبادلة خلال العصور المتعاقبة حتى اتخذت القارات شكلها الحالى تقريباً مع أوائل عصر البلستوسين. وقد حدثت خلال هذا الحقب حركة من أقوى الحركات الأرضية هى الحركة الألبية التى رفعت مناطق شاسعة من قيعان البحر مع أوائل زمن الاليجوسين تكونت منها سلاسل الألب والهيمالايا والروكى والانديز وصاحب هذه الثورة نشاط بركانى كبير تدفقت نتيجته الحمم وثارت البراكين فى أماكن كثيرة. وبلغت هذه الثورة أشدها فى عصر الميوسين ثم بدأت تقل شيئاً فشيئاً بعد ذلك حتى خمدت تقريباً مع أوائل عصر البلستوسين.

أما الظروف الجوية فقد كان تشبه الظروف الجوية الحالية من حيث الحرارة الشديدة. عند دائرة الاستواء والتى تنخفض تدريجياً نحو القطبين، ومن حيث وضوح الفصول وتباين المناخ فى الأوقات المختلفة من السنة.

ولكن يبدو من الحفريات أن جو الأرض عموماً كان أدفأ منه الآن وخاصة في الجزء المبكر من هذا الحقب. إلا أن درجة الحرارة بدأت في الهبوط مع أواخره وما أن حل عصر البليستوسين حتى انخفضت بشكل واضح أدى إلى تكون الغطاءات الجليدية واتساع رقعتها حتى شملت في نصف الأرض الشمالي معظم أوربا وأمريكا الشمالية لدرجة أن ذلك العصر يسمى أيضاً بعصر الجليد. وكان يتخلل عصر الجليد فترات من المناخ الدافئ آخرها هي الفترة التي نعيش فيها الآن أو العصر الحديث.

سجل الحياة:

يمتاز سجل الحياة في هذا الحقب ببدء ظهور الطوائف والأجناس الحالية من حيوانات ونباتات مع بدايته ثم تزايد نسبتها كلما تقدم الزمن حتى وصلت إلى وضعها الحالي. كما أنه يمتاز كذلك بانقراض جميع أجناس وأنواع الامونيت والبلمنيت والزواحف الكبرى التي ميزت الحقب السابق له.

المراجــــع

- أولاً: المراجع العربية.
- ثانياً: المراجع غير العربية.

أولاً: المراجع العربية:

- أحمد أحمد مصطفى: أسس الجغرافيا الطبيعية – الطبعة الثالثة – دار المعرفة الجامعية – الاسكندرية ١٩٩١.
- ــــــــــــ: مقدمة لفهم نظرية الألواح التكتونية – نشرة البحوث الجغرافية – كلية البنات جامعة عين شمس – ١٩٩١.
- ــــــــــــ: جيومورلولوجية حوض وادى سمائل بسلطنة عمان وموارده المائية – مجلة كلية الآداب – جامعة الاسكندرية ١٩٩١.
- تيريل ج. د.: مبادئ علم الصخور – ترجمة محمد كمال العقاد وزملاؤه – المركز القومى للاعلام والتوثيق – القاهرة ١٩٦٧.
- جودة حسنين جودة: معالم سطح الأرض – الطبعة الأولى – الهيئة العامة للتأليف والنشر – الاسكندرية ١٩٧١.
- حسن أبو العينين: كوكب الأرض – ظواهره التضاريسية الكبرى – الطبعة الحاديه عشر – مؤسسة الثقافة الجامعية – الاسكندرية ١٩٩٦.
- ــــــــــــ: الجغرافيا الطبيعية – الطبعة الأولى – مؤسسة الثقافة الجامعية – الاسكندرية ١٩٩٨.
- شاهر جمال أغا: الزلازل – حقيقتها وآثارها – الكويت ١٩٩٥.
- فريدريك هـ. لاهى: جيولوجيا الحقل – ترجمة فتح الله عوض وزملاؤه – مجموعة الكتب والمراجع الأمريكية المترجمة – مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر – دار النهضة العربية – القاهرة ١٩٦٧.
- هاول ويليامز وآخرون: علم الصخور – ترجمة سلامة طوسون وزملاؤه – مجموعة الكتب والمراجع الأمريكية المترجمة – مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر – دار المعرفة القاهرة ١٩٧١.
- هيثر د. س.: الألواح الجيولوجية ونظمها التكتونية – تعريب وتعليق حسن أبو العينين – الجمعية الجغرافية الكويتية – الكويت ١٩٨٨.

ثانياً: المراجع غير العربية:

- Belousov, V., "Structural Geology". Translated from the Russian by A. Gurevich, Mir Publishers, Moscow, 1968.
- ------------- :The Earth's Crust and Upper Mantle Beneath Continents. Moscow, 1973.
- ------------- :The Earth's Crust and Upper Mantle Beneath Oceans. Moscow, 1974.
- ------------- : The Earth's Tectonosphere, Concepts and Facts. Problems of Global Tectonics. Moscow, 1975.

- Berkner, L.V. & Hugh Odishaw, (editors), "Science in Space". McGraw - Hill Co. New York, 1982.
- Bird, E.C.F. "Coasts". M.I.T. Press, Massachusetts, 1970.
- Bloom, A.L., "The Surface of The Earth". Prentice Hall International Inc., London, 1969.
- Brasdshaw, M.J. "Earth, The Living Planet." E.L.B.S Edition, Hodder and Stoughton, London, 1979.
- Bradshaw, M.J., Abbott, A.J.. & Gelsthrope, A.P., "The Earth's Changing Surface". E.L.B.S. Edition, Hodder and Stoughton, Kent, 1979.
- Bradshaw, M.J. & Weaver, R. "Physical Gerography" Mosby St.Louis. 1993.
- Brayant, R.H., "Physcial Geography". W.H.Allen, London, 1980.
- Briggs, D., "Sediments". Butterworths & Co., London, 1977.
- Bullard, E.C. & maxwell, A. E. & Revelle, R. "Heat Flow Through the Deep Sea Floor". Advances in Geophysics, Vol. 3 1956, New York.
- Bullard, E. C., "The Bakerian Lecture: Recersals of The Earth's Mangnetic Field." Phil. Trans. Roy. Soc. A 263, 1968. London.
- ------------ : "The Earth's Mangnetic Field and Its Origin: In: "Understanding The Earth." edited by: Gass, I. G. & Smith P.J. & Wilson, R. C. L. pp. 71 - 80, Cambridge, Massa. 1974.

- Chorley, R.J. & Kennedy, B.A., "Physical Geography-A System Approach". Prentice Hall International Inc. London, 1971.
- Clark, S. P., "Structure of The Earth." Englewood Cliffs, New Jersey, 1971.
- Davies, J.L., "Landforms of Cold Climates". M.I.T. Press, Massachusetts, 1922.
- Das Gupta, A. & Kapoor, A.N. "Prinicples of Physical Geography". S. Chand & Co., New Delhi, 1968.
- Derek York, "Planet Earth". McGraw-Hill Co., New York, 1975.
- Dunbar, C.O. & Rodgers , J., "Principles of Stratigraphy". John Wiley & Sons Inc. London, 1981.
- Dury, G.H. "The Face of The Earth". Penguin Books, Baltimore, Maryland, 1966.
- Dury, G.H., World Geography- Physical". Thomas Neloson & Sons LTD. London, 1967.
- Eicher, D.L. & McAlester, A.L., "History of The Earth". Printice Hall Inc., New Jersey, 1980.
- Elsasser, W. M., "The Earth's Interior and Geomagnetism." Review of Modern Physics, Vol. 28, 1956
- Firsoff, V.A "The Interior Planets". Oliver & Boyd LTD. Edinburgh. 1968.
- Gass, I.G., Peter, J., Smith & Wilson, R.C.L., (editors), "Understanding The Earth, A Reader in The Earth Sciences". The M.I.T. Press, Cambrige, Massachusetts, 1974.
- Gorshkov, G. & yakushova, A., "Physical Geology". Translated from Russian by A.Gurevich, Mir Publisher, Moscow, 1967.
- Gorshkov, G. & yakushova, A., "Physical Geology". Translated from Russian by V.V.Shiffer, Mir Publisher, Moscow, 1977.
- Greenland, D. & De Blij, H.J., "The Earth in Profile - A physical Geography" Canfield Press, San Francisco, 1977.
- Gregory, K.J., "The Changing Nature of Physical Geogrphy". Aronld, New York , 2000.

- Gutenberg, B. & Richter, C. F., "Seismicity of the Earth". Princeton Univ. Press, 1954.
- Harris, P., "The Composition of the Earth. "In: "Understanding the Earth". edited. by: Gass, I. G. & Smith, P. I. & Wilson, R. C. L. pp. 53 - 68, Cambridg, Massa. 1974.
- Heirtzler, J. R. & Dicson, G. O. & Herron, E. M., "Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Field Reversals and Motion of the Ocean Floor and Continents". Journ. Geophys. Res. vol. 76, no. 6. 1968.
- Hidore, J.J., "Physical Geography: Earth Systems". Scott , Foresman and Co. Illinois, U.S.A., 1974.
- Hidore, J.J. & Roberts, "Physical Geography " Mcamillan, New York, 1990.
- Holmes, A., "Principles of Physical Geology" E.L.B.S. Edition, Thomas Nelson and Sons LTD. London, 1975.
- Jackson, N. & Penn, PH., "A Ground Work of Physical Geography" George Philip and Son LTD. London, 1978.
- Jacobs, J. A., "The Earth's Core and Geomagnetism". London, 1973.
- Sir James Jeans, "Through Space and Time". Cambrige at The University Press, 1949.
- Jeffreys, H., "The Earth". 4th edition, Cambridge Univ. Press, 1959.
- Kinghton, D., "Fluvial Forms & Processes: A New Perspective" New York, 1998.
- Leeder, M.R., "Sedimentology: Process and Product" George Allen & Unwin, London, 1983.
- Leet, L.D. & Judson, S., "Physical Geology". Prentice Hall of India LTD., New Delhi, 1969.
- Mabbut, J.A., "Desert Landforms". A.N.U.Press, Canberra, 1977.
- Mason, B., "Principles of Geochemistry". John Wiley & Sons, New York, 1986.
- McIntyre, M.P. et al., "Phsical Geography" John Wiely and Sons Co., New York, 1991.

- Mckenzie, D. P., "Plate Tectonics and Sea- Flor Spreading". Amer. Scientist, vol. 60, 1972.
- Monk house, F.J., "Principles of Physical Geography" University of London Press LTD., London, 1971.
- Muratov, M.V., "The Origin of Continents and Ocean Basins" Translated from Russian by John Williams, Progress Publishers, Moscow, 1975.
- Namowtiz, S.N. & Stone, D.B., "Earth Science: The World We Live In". Van Nostrand Co. New York, 1982.
- Peter Francis, "Volcanoes". Penguin Books LTD. New York, 1981.
- Petts, G.E., "Rivers". Butterworths & Co., London, 1983.
- Potter, A.W.R. & Robinson, H., "Geology" E.L.B.S. Edition, Macdonald and Evans LTD. London, 1982.
- Read, H.H. & Janet Watson "Introduction to Geology: Vol. 2: Earth History, Part I : Early Stages of Earth History" E.L.B.S Edition, Macmillan, London, 1978.
- Read, H.H. & Janet Watson, "Introduction to Geology: Vol. 2: Earth History, Part II: Late Stages of Earth History" E.L.B.S. Edition, Macmillan, London, 1979.
- Read, H.H. & Janet Watson, "Introduction to Geology: Vol. 1: Principles" E.L.B.S. Edition, Macmillan, London, 1985.
- Rice, E., "Understanding The Oceans" U.C.L. Press, New York, 2001.
- Ringwood, A. E., "Phase Transformation and the Constitution of the Mantle". Phys. Earth and plan. Interior, vol. 3. 1970.
- Robinson, H., "Physical Georaphy". Macdonald & Evans LTD., London, 1974.
- Ronald W. Tank, (Editor), "Focus on Environmental Geology". Oxford University Press Inc., 1973.
- Ruhe, R.V., "Geomorphology". Houghton Mifflin Co., Boston, 1979.

- Ryabachikov, A., "The Changing Face of The Earth" Translated From Russian by John Williams, Progress Publisher, Moscow, 1975.
- Ryncorn, S. K., "Convection Currents in the Earth's Mantle". Nature, vol. 80, 1960.
- Santosh Ray, "A Textbook of Geology" Orient Longman LTD., Bombay, 1976.
- Sass. I. H., "The Earth's Heat and Internal Temperature". In: "Understanding the Eath". edited by: Gass, I. G. & Smith, P. J. & wilson, R. C. L. Cambridge Massa. 1974.
- Sey Fert, C. K. & Sirkin, L. A., "Earth History and Plate Tectonics". Harper and Row, New York, 1973.
- Strahler, A.N, "Physical Geography" Wiley Eastern Private LTD., New Delhi, 1971.
- Strahler, A.N. & Strahler, A.H., "Geography and Man's Enviroment" John Wiley & Sons, New York, 1977.
- Strahler, A.N. & Strahler , A.H., "Elements of Physical Geography". John Wiley & Sons, New York, 1984.
- Strahler, A.N. & Others, " Physical Geography : Science and Systems of The Human Environment" John Wiley & Sons, New York, 2002.
- Sverdrup, "An Introduction to The World's Oceans" McGraw-Hill Co. New York, 2000.
- Sydney, P. & Clark, JR., "Structure of The Earth" Printice Hall Inc., New Jersey, 1971.
- Tarr, R.S., "College Physiography" Published Under The Editorial Diredction of Martin L., The Macmillan Co., New York, 1931.
- Twidale, C.R., "Structural Landforms" The MIT Press, Massachusetts, 1971.
- Vita - Finzi, C., "Recent Earth History" Mcamillan, Exeter, 1973.
- West.R.G., "Pleistocene Geology and Biology" Longman, Norfolk, 1974:

فهرس الجداول

فهرس الإشكـال

تابع فهرس الأشكال

تابع فهرس الإشكـال

تابع فهرس الإشكـال

تابع فهرس الأشكال

تابع فهرس الإشكـال

تابع فهرس الإشكـال

تابع فهرس الإشكـال

تابع فهرس الإشكـال

فهرس الموضوعات

الصفحة

الفصل الرابع
نشأة القارات والمحيطات

الفصل الخامس
القوي الداخلية (التكتونية) المشكلة لسطح الأرض

الفصل السادس
القوي الخارجية المشكلة لسطح القشرة الأرضية والظاهرات الناجمة عنها

الفصل السابع

عمر الأرض والعامود الجيولوجي ومقياس الزمن والتاريخ الجيولوجي العام للأرض

